现代电子通信技术系列教材

物联网概述

赵健 肖云 王瑞 编著

清华大学出版社

清华大学出版社数字出版网站
WQBook 文泉书局
www.wqbook.com



现代电子通信技术系列教材

物联网概述

赵健 肖云 王瑞 编著



清华大学出版社
北京



内容简介

物联网是在互联网的基础上，利用射频标签与无线传感器网络等物理接入与传输技术，构建的覆盖世界上所有人与物的网络信息系统，强调的是人与物、物与物之间信息的自动交互和共享。

本书系统地论述物联网的本质、内容、技术、安全、发展方向和应用领域等，主要包括感知自然界的各种技术：RFID射频技术、传感器与传感网、PC感知、3G手机、数字电视等；现实社会中的信息网络系统与技术：互联网、通信网和无线技术等；面向用户的物联网的智能实现：数据库、信息安全、人工智能等，最后列举了物联网在几个典型领域中的应用以增强读者对物联网实现的理解。

本书内容丰富，通俗易懂，技术实用，既突出了作为教科书的理论性和系统性，又具有一定的前瞻性，可作为电子信息、计算机科学、电子商务及相关专业的大学本科学生的教材，也可供从事物联网学习、研究和生产应用的科技工作者和工程技术人员系统地把握物联网。

图书在版编目（CIP）数据

物联网概述/赵健等编著. --北京：清华大学出版社，2013.2
（现代电子通信技术系列教材）
ISBN 978-7-302-31348-9

Ⅰ. ①物…　Ⅱ. ①赵…　Ⅲ. ①互联网络－应用－教材 ②智能技术－应用－教材　Ⅳ. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第012484号

责任编辑：邹开颜
封面设计：常雪影
责任校对：刘玉霞
责任印制：宋　林

出版发行：清华大学出版社
网　　址：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
地　　址：北京清华大学学研大厦A座　　邮　编：100084
社 总 机：010-62770175　　邮　购：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 装 者：北京鑫海金澳胶印有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：185mm×260mm　　印　张：19.5　　字　数：470千字
版　　次：2013年2月第1版　　印　次：2013年2月第1次印刷
印　　数：1～3000
定　　价：36.00元

产品编号：045630-01

前言

21世纪人类社会已步入信息时代，人类正处在一场新的技术革命中。这次技术革命的中心就是物联网。物联网是在计算机互联网的基础上，利用RFID、无线数据通信等技术，构造覆盖世界上万事万物的“Internet of Things”。物联网通过各种互联网实现物品的自动识别和信息的互联与共享等。在这个网络中，物品能够彼此进行“交流”，而无需人的干预。物联网概念的问世，打破了之前的传统思维，即将物理基础设施和IT基础设施分开，一方面是机场、公路、建筑物等，另一方面是数据中心、个人计算机、宽带等；而在物联网时代，钢筋混凝土、电缆将与芯片、宽带整合为统一的基础设施，在此意义上，基础设施更像是一个新的地球。业内人士认为物联网与智能电网等是智慧地球的有机构成。

物联网不局限于目前互联网中信息系统和设备的连接与组合，还将继承和极大地拓展大型计算、桌面计算、普适计算、CPS、物联网、云等计算模式的应用范畴，彻底地整合物理世界与信息系统，为未来人类建设统一的赖以生存的智能化环境。并且物联网拥有现有世界最完整的专业物联产品系列，包括从传感器、控制器到云计算的各种应用，涉及产品服务、智能家居、交通物流、环境保护、公共安全、智能消防、工业监测、个人健康等各种领域。

本书不是单纯介绍物联网的一些技术知识，而是结合物联网最新研究现状和作者的一些研究成果，推出的一本全新的深入浅出、知识全面、通俗易懂、“有地气”的教材，使得学习和研究人员能够比较全面地了解物联网的内容与发展，从而推动国内对其研究的进一步深入，为我国的国民建设、航空航天、国防军事领域、多媒体产业和网络化发展提供强有力的理论保障。

本书从物联网技术体系结构的角度介绍物联网，将物联网分为3个层次：感知层、网络层和应用层。本书分别从这3个层次来阐述和理解物联网。

全书共分为11章。第1章总体叙述物联网的概念、发展历程和未来发展方向，使读者对物联网有一个整体了解。第2章介绍物联网中应用最广泛的RFID射频技术及其特性、工作原理和分类，它是物联网最简单的感知自然界的感知途径。第3章介绍传感器的特征、分类，然后介绍物理网中的传感器、传感网的技术以及传感网的应用。第4章介绍物联网的一些其他感知方式：PC感知、3G手机、掌上电脑(PDA)、摄像机和数字电视。第5章介绍物联网的核心和基础——互联网，以及它的关键技术和与物联网的联系，互

联网连接的是虚拟世界，物联网连接的是物理世界。物联网是互联网的下一代。第6章介绍通信网的概述、固定通信网、移动通信网、第四代移动通信和物联网中的通信网的应用和发展。第7章介绍无线网络中的技术，包括WiFi技术、WiMax技术、蓝牙技术、红外技术和ZigBee技术等。第8章介绍数据库的技术，分别介绍数据库管理系统、数据库的运行与维护、物联网中的数据库应用和分布式实时数据库管理系统的构成等。第9章介绍物联网各个层级的安全问题和面对这些安全问题的安全策略，在此基础上介绍物联网信息安全体系架构。第10章首先介绍人工智能中的知识表示方法、不确定性和确定性推理方法，以及物联网中的人工智能的应用和物联网的智能化模型，然后介绍神经网络的结构、模型以及物联网中的神经网络和神经计算机。第11章介绍物联网在物流业、交通管理、城市市政管理、工业方面、智能电网、智能家居、医疗业、环境保护和减灾防灾等领域的应用。

本书由赵健教授统稿、执笔、定稿，肖云、王瑞参与编写部分内容。感谢西北大学副校长高岭教授、西北大学信息科学与技术学院院长张志勇教授、西北大学信息科学与技术学院耿国华教授（国家级教学名师）、房鼎益教授（陕西省教学名师）、彭进业教授、潘建寿教授等在编写过程中所提建议。在本书的编写过程中，还得到西北大学信息科学与技术学院许多老师，研究生的帮助，在此表示衷心的感谢。

书中涉及的研究内容得到中国博士后科学基金，陕西省自然科学基金，陕西省教育厅科技基金，西北大学“211”工程重点建设项目的资助。

限于水平，书中难免有错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

作　者

2013年1月于西北大学信息苑

zjctec@nwu.edu.cn

目录

第1章

物联网概述

1999年,美国Auto-ID实验室首先提出"物联网"这个概念。

2009年1月,IBM公司提出"智慧地球"构想,IoT(Internet of Things)为其中不可或缺的一部分,美国总统奥巴马对此进行积极回应,并将其提升为国家的发展战略,从而引起全球广泛关注。接着欧盟、日本、韩国等纷纷出台促进物联网技术和产业发展的计划,针对物联网的国家战略及应用发展及其迅速,致使物联网已经开始在军事、工业、农业、环境监测、建筑、医疗、空间和海洋探索等领域投入应用。

2009年8月,国务院总理温家宝在视察无锡物联网产业时发表重要讲话,提出了"感知中国"的理念,标志着政府对物联网产业的关注和支持力度已提升到国家战略层面,开启了中国物联网发展的新纪元。

从"智慧地球"构想到"感知中国"理念的提出,伴随着全球一体化、工业自动化和信息产业化进程的不断深入,物联网技术受到了人们的广泛关注,使得物联网掀起了新一代IT技术革命,成为继计算机、互联网之后的世界信息产业的第三次浪潮。物联网的出现体现了虚拟世界和现实世界的融合趋势,寄托着人们利用信息技术进一步改造现实世界的愿望。

本章将从物联网的概念和结构入手,回溯物联网的产生与发展,审度物联网的发展现状,展望物联网的发展趋势,让读者对物联网有一个全局性的认识和把握。

1.1 物联网概念

经过十几年的发展,物联网的概念在不断地发展与扩充。最早的物联网概念主要建立在物品编码、射频识别(radio frequency identification,RFID)技术和互联网的基础上,随着研究领域的扩大,信息产业技术的不断发展,物联网的概念已经突破了传统的狭窄的定义,覆盖了包括传感网、互联网在内的传统领域。物联网所蕴含的内容在不断地丰富,人们对物联网的认识和研究也在不断加深,但是关于物联网究竟是什么,到目前为止学界都还没有一个精确且公认的定义,而且随着发展不断地涌现出新的解释。

1.1.1 什么是物联网

由于物理世界的联网需求及信息世界的扩展需求催生出了一类新型网络,即物联网。物联网最初被描述为物品通过射频识别、红外感应器、激光扫描器等信息传感设备与互联网连接起来,实现智能化识别、管理和处理。这些特点已经超越了传统互联网应用范畴,呈现出了设备多样化、多网融合、感控结合、统一管理等特征,具备了物联网的初步形态。物联网

技术通过对物理世界信息化、网络化，对传统上分离的物理世界和信息世界实现互联和整合。

目前，对于“物联网”这一概念的准确定义尚未形成比较权威的表述。这主要归因于：

(1) 物联网的理论体系没有完全建立，对其认识还不够深入，还不能透过现象看本质；

(2) 由于物联网与互联网、移动通信网、传感网都有密切关系，不同领域的研究者对于物联网思考所基于的出发点各异，短期内还没有达成共识。通过与传感网、互联网、泛在网等相关网络的比较分析，我们认为：物联网是一个基于互联网、传统电信网等信息承载体，让所有能够被独立寻址的普通物理对象实现互联互通的网络。它具有普通对象设备化、自制终端互联化和普适服务智能化等 3 个重要特征。该定义的核心是：在物联网世界，每一个物件均可寻址，每一个物件均可控以及每一个物件均可通信，如图 1-1-1 所示。

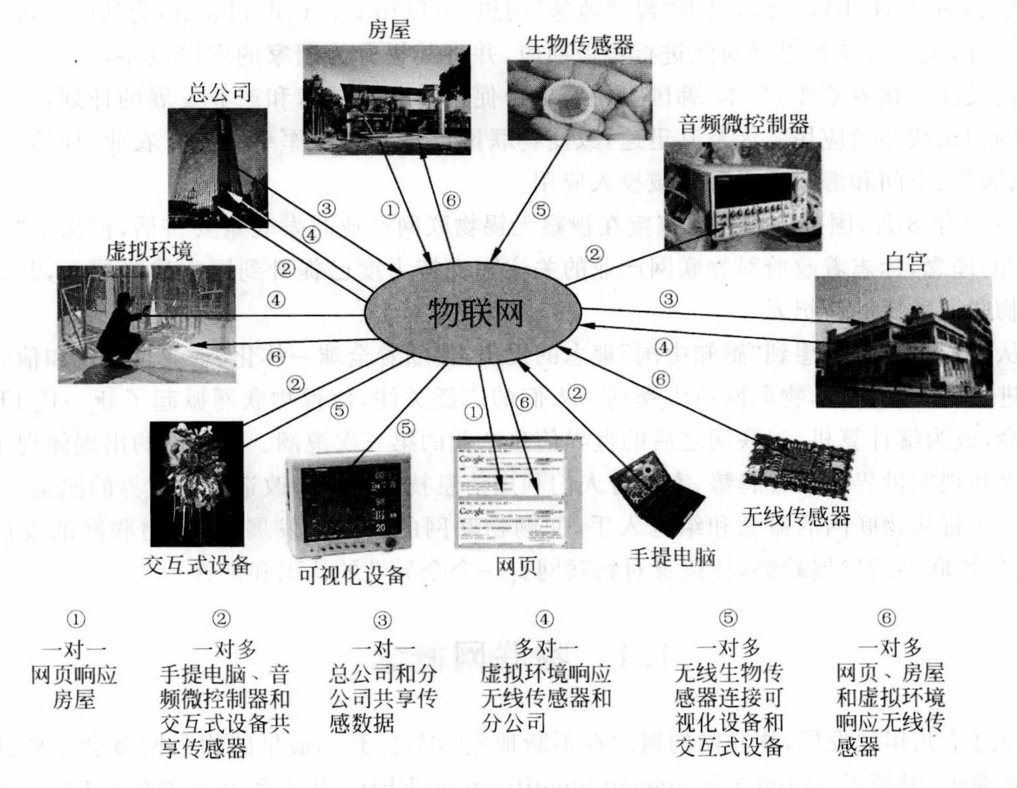


图 1-1-1　物联网的概念模型

为了更加全面地了解物联网，我们将从领域、层次、区域 3 个维度来探讨物联网的概念和定义。

从领域维度来看，物联网覆盖了信息技术和通信技术的众多领域，包括 RFID、传感器、互联网、嵌入式、移动通信等，每个领域都可以从自己的角度给出物联网的定义。例如，对互联网领域来说，物联网可以认为是互联网的延伸，就是物物相联的互联网，与传统互联网的区别就是物件也能够接入互联网。对于 RFID 领域，每一个物件上都贴上电子标签（如条码等），通过后台信息系统构成一个借助于互联网，所有物件都能够互相联系起来、互相交换信息的网络就是物联网。当然这些理解都仅仅是物联网的一个侧面没有顾及到全局，如果从更广泛的角度来说，物联网就是以“物”的信息的感知、传输、处理为目的，利用包括传感网、

接入网、核心网、互联网等技术使“物”具有通信能力，利用包括嵌入式、中间件编程等在内的信息技术使“物”具有信息处理的能力，形成一个物与物、人与人、物与人都能通信的系统。这个“物”既包括电器设备和基础设施，例如家电、传感器、移动终端等，也包括生产和生活环境中诸如温度、光线等可感知的因素。

从层次的维度来看，物联网是一个层次化的网络。第一层是感知层，负责利用二维码标签和识读器、RFID 标签和读写器、摄像头、传感器（如温度感应器、声音感应器、震动感应器、压力感应器等）、GPS(global position system)等识别控制物体，采集数据信息；第二层是网络层，负责利用移动通信系统、互联网、传统电信网等将感知层采集的信息进行处理和传递；第三层是应用层，负责把前两层获得的信息进行处理和传递，做出正确的控制和决策，实现信息的存储、数据的挖掘、应用的决策，从而实现智能化的管理、应用和服务。该层次决定了面向对象可以与生产生活息息相关，包括工业、农业、电力、医疗、家居、个人服务等应用。从层次上看，物联网是包含了这三种层次的网络，并以此实现感知、互联、智能三重功能的智能信息系统。

从区域维度来看，2009 年 9 月，在北京举办的“物联网与企业环境中欧研讨会”上，欧盟委员会信息和社会媒体司 RFID 部门负责人 Lorent Ferderix 博士给出了欧盟对物联网的定义：物联网是一个动态的全球网络基础设施，它具有基于标准和互操作通信协议的自组织能力，其中物理的和虚拟的“物”具有身份标识、物理属性、虚拟特性和智能接口，并与信息网络无缝整合。物联网将与媒体互联网、服务互联网和企业互联网一道，构成未来互联网。虽然各个国家给出的物联网的定义不尽相同，但是都涵盖了目前发展阶段物联网技术所能包含的所有内容。

综上所述，物联网的本质概括起来主要体现在 3 个方面：一是互联网特征，即对需要联网的“物”一定要能够实现互联互通的互联网络；二是识别与通信特征，即纳入物联网的“物”一定要具备自动识别与物物通信(M2M)的功能；三是智能化特征，即网络系统应具有自动化、自我反馈与智能控制的特点。我们能够相信，随着物联网应用的开展及扩大，物联网的发展将不仅仅局限于技术领域，也可以像互联网那样广泛地参与到经济生活、社会生活和文化生活等各个领域中来，从而成为新世纪的又一场信息革命，全面改善人们的生活。

1.1.2 与互联网等概念的区别与联系

在初步了解了物联网的概念后，下面将通过物联网与传感网、互联网、泛在网(ubiquitous network)等相似概念的辨析来深入了解物联网。

1. 物联网与传感网

传感网又称为传感器网，是指随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信单元的微小节点，通过自组织的方式构成的无线网络。传感网的突出特征是采用智能计算技术对信息进行分析处理，从而提升对物质世界的感知能力，实现智能化的决策和控制。现在谈及的传感网，一般都是指无线传感网(wireless sensor network，WSN)由大量静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络。通过无线传感网，可以在任何时间、地点和任何环境条件下，获取大量翔实可靠的物理世界的信息。这种具有智能获取、传输和处理信息功能的网络化智能传感器网和无线传感网，正在逐步形成 IT 领域的新产业。它可以广泛应用于军事、科研、环境、交通、医疗、制造、抗灾、家居等领域。

目前有不少观点认为物联网就是传感网。其实这样的假定使得物联网的外延缩小了。传感网面临的通信对象毫无疑问一般是物与物之间的，与物联网相比较而言，传感网的概念缺少了人、物之间的关联、沟通与互动，而且传感网主要采用“各种各样的传感器结合近距离无线通信技术”方式，缺少了基础网络即互联网。物联网如果仅作为传感网，物在联网之后，只需服从其所属的控制中心的指令，而各个控制中心则是相互分离的；如果作为传感网的延伸，就可以将所有联网的系统与节点有机地连成一个整体，起到互相协同的作用。物联网采用的末端技术除了 RFID、二维码、超宽带、蓝牙等技术，还有传感网和一些移动通信模块内置的各种各样物体的终端。由此，可以明显地看出，传感网技术是物联网实现感知功能的关键技术，传感网的概念范围比较狭小，完全可以将其包含在物联网的概念之内。

2. 物联网与互联网

互联网，即广域网、局域网及单机按照一定的通信协议组成的国际计算机网络。互联网的广泛使用和飞速发展使得其成为 20 世纪最重要的技术革命，它的出现深刻地改变着人们的生产生活方式，改变了现实世界并且形成了一个庞大的虚拟世界。物联网并不是互联网的翻版，也不是互联网的一个部分，而是互联网的一种延伸，使得虚拟世界与现实世界趋于融合的一种延伸。由互联网的定义及特性很容易知道，物联网是互联网的扩展，具备了互联网的特性的同时对互联网的功能进行了更深层次的扩充。虚拟世界以数据形式存在，互联世界产生的信息量已经相当庞杂，物联网世界将互联世界的人人通信扩展到人与人、人与物、物与物通信，那么可想而知虚拟世界的信息量会在物联网时代急速增加，信息化的触角将在现实中扎得更深。这是主要的不同。

互联网的本质是聚合、交流与分享，正是基于这一本质，网络经济自起步以来就不乏强劲的活力与创新力。在市场作用力的推动下，网络经济新商业模式层出不穷，引发了互联网经济的蓬勃发展。对于物联网而言，可以通过对环境的感知和自动识别增加人与人之间的接触，从中获得更多的价值和商业机会；在人物交汇处可以建立起新的节点平台，使得长尾（长尾理论（the long tail）是网络时代兴起的一种新理论，由美国人克里斯·安德森提出）在节点处显示出最高的效用，正如互联网时代，各式各样的大型网站由于汇聚了大量的人气，形成了一个个的中心节点，使得长尾理论的效用得到大幅度的提高。物联网的普及，不仅能够产生出新的需求，而且能够产生新的供给，更可以让整个网络获得更进一步的扩展和提高，从而创造出更多更丰富的业务应用。正是这些特性，将使物联网带来的实际效应比互联网会有更大的增强，并且不仅仅是角色的增加和功能的扩展。

3. 物联网与泛在网

泛在网，即广泛存在的网络，是指基于个人和社会的需求，利用现有的和新的网络技术，实现人与人、人与物、物与物之间按需进行的信息获取、传递、存储、认知、决策、使用的服务。泛在网具备超强的环境感知、内容感知及智能性，为个人和社会提供泛在的、无所不含的信息服务和应用。它以无所不在、无所不包、无所不能为基本特征，以实现在任何时间、任何地点、任何人、任何物都能顺畅地通信为目标。泛在网打破了地域限制，人们可以在不意识到网络存在的情况下，随时随地通过适合的终端设备上网并享受服务，它要求尽量不改变或少改变现有设备及技术，通过异构网络之间的融合协同作用来实现，可以看出泛在网是面向泛在应用的各种异构网络的集合。

泛在网作为未来网络的技术社会形态，它与物联网有着天然的联系。从两者的定义来

看，物联网和泛在网有很多相同之处，都强调人与人、人与物、物与物之间的通信，物联网的应用也有泛在化的需求和特征。物联网实质是泛在网融合协同的一种网络工作模式，物联网就是泛在网及信息化在行业应用中的一个重要体现。但是从广义来说，物联网与泛在网概念的出发点和侧重点不完全一致。泛在网的概念反映了信息社会发展的远景和蓝图，内涵比物联网更广泛，其内涵关注的是人与周边和谐交互，各种感知设备与无线网络不过是手段，最终的泛在网形态属于"互联网＋物联网＋智能系统"。我们可以得出，如果说泛在网是蓝图，那么物联网是迈向这个蓝图的第一步。

综上所述，传感网是物联网的组成部分，物联网是互联网的延伸，泛在网是互联网的发展远景。物联网与现有的其他网络之间的关系如图 1-1-2 所示。

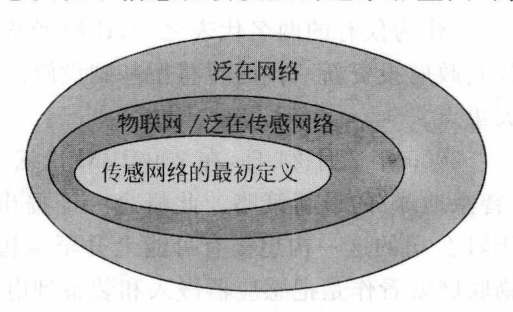


图 1-1-2　物联网与其他网络之间的关系

1.2　物联网概念的产生和发展

1.2.1　物联网概念的产生

物联网的概念告诉人们什么是物联网，然而"物联网"一词最早出现在什么地方，它是如何产生，又是如何发展的呢？纵观物联网的产生与发展，最早可以追溯到 1990 年施乐公司的网络可乐贩售机——networked coke machine。

目前，人们普遍关注的物联网技术中比较重要的 RFID 的应用实际上并非一项新技术，其中最典型的应用可以追溯到 1991 年第一次美伊战争。当时，美国军方发现，战争结束后在一些港口、机场堆积着大量的军需物资集装箱，但是对这些物品应该运到何处，到底属于谁全然不知。如果想搞清楚这些信息，则要花费大量的人力和财力，基于此，美国五角大楼启动了一个"军需物资可视化管理"的重要项目，成功地将 RFID 技术用于其中。此后，UPS、FEDEX 等大型速递公司也应用这些技术打造了一个可以跟踪查询快件位置的服务体系。在这类物联网早期应用模式中，由于物是没有计算力的，所以应用模式表现为人主动与物通信，了解物的时空以及其他属性信息，而物并不会主动服务于人类。在 1995 年《未来之路》一书中，比尔·盖茨提出 Internet of Things 的概念，只是当时受限于无线网络、硬件及传感设备的发展，并未引起世人的重视。到了 1999 年，美国召开了移动计算和网络国际会议，该会议首先提出物联网(Internet of Things)的这个概念，它是基于互联网、RFID 技术、EPC(engineering，procurement and construction)标准，在计算机互联网的基础上，利用射频识别技术、无线数据通信技术等，构造了一个实现全球物品信息实时共享的实物互联网"Internet of things"(简称物联网)。同时，会议也提出了"传感网是下一个世纪人类面临的又一个发展机遇"。

2005 年 11 月 17 日，在突尼斯举行的信息社会世界峰会(WSIS)上，国际电信联盟(ITU)发布《ITU 互联网报告 2005：物联网》，引用了物联网的概念。物联网的定义和范围已经发生了变化，覆盖范围有了较大的拓展，不再只是指基于 RFID 技术的物联网。报告指

出，无所不在的物联网通信时代即将来临，世界上所有的物体从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过因特网主动进行交换。在物联网的带动下，射频识别技术(RFID)、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将得到更加广泛的应用。

2009 年 1 月 28 日，奥巴马就任美国总统后，与美国工商业领袖举行了一次“圆桌会议”。作为仅有的两名代表之一，IBM 首席执行官彭明盛首次提出“智慧地球”这一概念，建议新政府投资新一代的智慧型基础设施。当年，美国将新能源和物联网列为振兴经济的两大重点。

2009 年 2 月 24 日，在 2009IBM 论坛上，IBM 大中华区首席执行官钱大群公布了名为“智慧地球”的最新策略。此概念一经提出，即得到美国各界的高度关注，甚至有分析认为 IBM 公司的这一构想极有可能上升至美国的国家战略，并在世界范围内引起轰动。自此，物联网就看作是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中，并且被普遍连接，形成“智慧地球”，实现真正意义上的物联网。

1.2.2 物联网的发展历程

欧盟是世界范围内第一个系统提出物联网发展和管理计划的机构。为了推动物联网的发展，欧盟电信标准化协会下的欧洲 RFID 研究项目组的名称也变更为欧洲物联网研究项目组，致力于物联网标准化相关的研究。

2009 年 6 月，欧盟委员会向欧盟议会、理事会、欧洲经济和社会委员会及地区委员会递交了《欧盟物联网行动计划》(*Internet of Things—An Action Plan for Europe*)，以确保欧洲在构建物联网的过程中起主导作用。2009 年 10 月，欧盟委员会以政策文件的形式对外发布了物联网战略，提出要让欧洲在基于互联网的智能基础设施发展上领先全球，除了通过 ICT 研发计划投资 4 亿欧元，启动 90 多个研发项目提高网络智能化水平外，欧盟委员会还将于 2011—2013 年间每年新增 2 亿欧元进一步加强研发力度，同时拿出 3 亿欧元专款，支持物联网相关公司合作短期项目。

在亚洲国家中，日本成为最先发展物联网的国家，它的物联网发展有与欧美国家一争高下的决心，在 T-Engine 开发平台下建立 UID 体系已经在其国内得到较好的应用，并大力向其他国家，尤其是亚洲国家推广。由于日本有较好的嵌入式智能设备和无线传感器网络技术基础，所以在日本开发的实时操作系统内核(the real-time operating system nucleus, TRON)广泛应用的基础上建立了泛在识别(UID)的物联网标准体系。日本政府于 2000 年又提出了“IT 基本法”，其后又提出了“e-Japan 战略”，2004 年，日本信息通信产业的主管机关总务省(MIC)提出 U-Japan 战略。2009 年 7 月日本 IT 战略本部提出 I-Japan 战略 2015 等发展物联网的一系列计划。

在日本发展物联网的同时，韩国的物联网技术也在紧锣密鼓的进行中。2004 年韩国提出了为期 10 年的 U-Korea 战略，之后在 U-IT839 计划中，确定了 8 项需要重点推进的业务，物联网是 U-Home(泛在家庭网络)、Telematics/Location based(汽车通信平台\基于位置的服务)等业务的实施重点。2009 年 10 月，韩通信委员会通过了《物联网基础设施构建基本规划》，将物联网市场确定为新增长动力，确定了构建物联网基础设施、发展物联网服务、研究物联网技术、营造物联网扩散环境等 4 大领域和 12 项详细课题。

纵观了世界各国物联网的产生与发展后来看物联网在中国的发展。如前边提到，2009

年8月温家宝总理在视察中科院无锡物联网产业研究所时,对于物联网应用也提出了一些看法和要求。他提出"在传感网发展中,要早一点谋划未来,早一点攻破核心技术,抢占传感网技术和产业制高点",并且明确要求尽快建立中国的传感信息中心,或者叫"感知中国"中心。自此物联网被正式列为国家五大新兴战略性产业之一,写入政府工作报告,物联网在中国受到了全社会极大的关注,其受关注程度是在美国、欧盟以及其他各国不可比拟的。

在2009年12月的国务院经济工作会议上,明确提出了要在电力、交通、安防和金融行业推进物联网的相关应用。我国已在无线智能传感器网络通信技术、微型传感器、传感器终端机和移动基站等方面取得重大进展,目前已拥有从材料、技术、器件、系统到网络的完整产业链。并且现在我国传感网标准体系已形成初步框架,向国际标准化组织提交的多项标准提案已被采纳,中国与德国、美国、韩国一起,成为国际标准制定的主导国之一。

而今,物联网的概念与其说是一个外来概念,不如说它已经是一个"中国制造"的概念,它的覆盖范围与时俱进,已经超越了1999年Ashton教授和2005年ITU报告所指的范围,物联网已被贴上"中国式"标签。截至2010年,发改委、工信部等部委正在会同有关部门,在新一代信息技术方面开展研究,以形成支持新一代信息技术的一些新政策措施,从而推动我国经济的发展。

物联网概念的产生与发展虽然是近20年才提出的,但其一经提出就得到人们的广泛关注和极大兴趣。今天,物联网在世界已成为十分热门的实用技术被深入研究。而我国对国际上物联网的发展也引起高度重视,并积极争取有所作为。下一代网络的研究开发步伐正在加快,新一代互联网关键技术IPv6的开发进展与世界同步,居于自主知识产权标准的第三代移动通信正在全国范围内推广,无线台北在世界率先建设,香港特区政府也在大力推进公共场所的无线接入服务,国内许多城市加紧城市带宽化和无线城市正在加紧进行;全国许多地方,如北京、上海、浙江、江苏、大连、广东等,以及许多行业,如交通运输、零售、生产和食品安全、企业供应链管理等,都在积极推进RFID应用,RFID产业以迅猛的速度在增长。电子标签国家标准工作重新成立,标志着我国要在全球物联网发展中发出自己的声音,可见中国并不沉默。随着中国社会的不断发展,科学技术的飞速前进,对物联网技术的探索和应用也将愈来愈广泛和深入,相信在不久的将来,物联网将在人们的生产生活中扮演举足轻重的角色。

1.3 物联网的体系结构

物联网的价值在于让物体也拥有了"智慧",从而实现人与物、物与物之间的沟通,物联网的特征在于感知、互联和智能的叠加。物联网作为新兴的信息网络技术,将会对IT产业发展产生巨大的推动作用。然而,由于物联网处于刚刚起步的状态,还没有一个广泛的体系结构。研究物联网的体系结构,首先需要明确架构物联网体系结构的基本准则,以便在已有的物联网体系结构基础上形成参考标准。

按照我们对物联网的理解,物联网是将射频识别设备、传感设备、全球定位系统或其他信息获取方式等各种创新的传感科技嵌入到世界的各种物体,设施和环境中;把信息处理能力和智能技术通过互联网注入到世界的每一个物体里面,使物质世界被极大程度数据化;它把所有物体通过射频识别等信息传感设备与现有的互联网、通信网、广电网以及各种接入网

和专用网连接起来,实现智能化识别和管理;将世界万物嵌入到互联网中,从而将物质世界与物联网连为一体,"物联网"给物体赋予智能和生命。简言之,物联网依托现有互联网,通过感知技术,实现对物理世界的信息采集,从而实现物与人,物与物之间的互联,因此,物联网由3部分组成:感知部分,即以二维码、RFID、传感器为主,实现对"物"的识别;传输网络,即通过现有的互联网、广电网络、通信网络等实现数据的传输;智能处理,即利用云计算、数据挖掘、中间件等技术实现对物品的自动控制与智能管理等。

目前在业界物联网体系架构也大致被公认为有这3个层次,底层是用来感知数据的感知层,第二层是数据传输的网络层,最上面则是应用层,如图1-3-1所示。

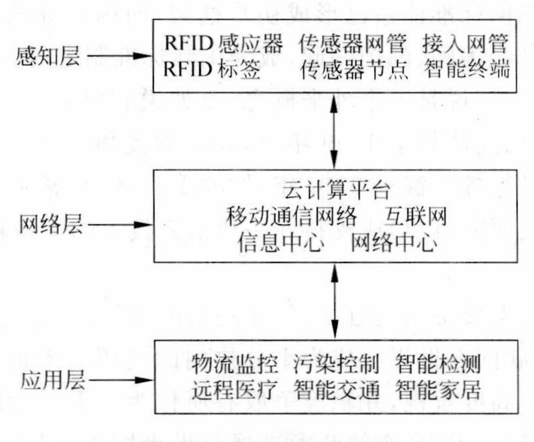


图1-3-1 物联网的结构

本节将分别从这3个层次,对物联网的相关概念和关键技术进行介绍。在物联网体系结构中,3层的关系可以这样理解:感知层相当于人体的皮肤和五官;网络层相当于人体的神经中枢和大脑;应用层相当于人的社会分工。具体描述如下:感知层是物联网的皮肤和五官——识别物体,采集信息。感知层包括二维码标签和识读器、RFID标签和读写器、摄像头、GPS等,主要作用是识别物体,采集信息。网络层是物联网的神经中枢和大脑——信息传递和处理。网络层包括通信与互联网的融合网络、网络管理中心和信息处理中心等。网络层将感知层获取的信息进行传递和处理,类似于人体结构中的神经中枢和大脑。应用层是物联网的"社会分工"——与行业需求结合,实现广泛智能化。应用层是物联网能够与行业专业技术的深度融合,与行业需求结合,实现行业智能化,这类似于人的社会分工,最终构成人类社会。在各层之间,信息不是单向传递的,也有交互、控制等,所传递的信息多种多样,这其中的关键是物品的信息,包括在特定应用系统范围内能唯一标识物体的静态与动态信息。

下面对这3层的功能和关键技术进行分别介绍。

1.3.1 感知层

感知层顾名思义就是感知系统的一个层面,这里的感知主要就是指系统信息的采集。感知层就是把所有物品通过一维/二维条码、射频识别(RFID)、传感器、红外感应器、全球定位系统等信息传感装置自动采集到与物品相关的信息,并传送到上位端,完成传输到互联网的准备工作。

在现实社会中，各种社会活动或事件都会产生一定的数据，包括个人的、物质的、财务的、生产的、销售的等。这些数据的采集与分析支撑着生产与生活的决策过程，影响着人类社会的运转及发展。因此，对各种数据进行采集并建立一个可供方便查询各种信息的平台是必要且必需的，物联网正是具备这一功能的智慧网络。

物联网的宗旨是实现万事万物的互联与信息的方便传递。要实现人与人互联、物与物互联以及人与物的互联，首先需要入网的，一是自动识别系统及设备，即识别器；二是信息传感系统及设备，即传感器。

物联网感知层解决的就是人类世界和物理世界的数据获取问题，包括各类物理量、标识、音频、视频数据。感知层处于3层架构的最底层，是物联网发展和应用的基础，具有物联网全面感知的核心能力。作为物联网的最基本一层，感知层具有十分重要的作用。

感知层一般包括数据采集和数据短距离传输两部分，即首先通过传感器、摄像头等设备采集外部物理世界的数据，通过蓝牙、红外、ZigBee、工业现场总线等短距离有线或无线传输技术进行协同工作或者传递数据到网关设备。也可以只有数据的短距离传输这一部分，特别是在仅传递物品的识别码的情况下。在实际上，感知层这两个部分有时很难以明确区分开。

感知层所需要的关键技术包括检测技术、中低速无线或有线短距离传输技术等。具体而言，感知层综合了传感器技术、嵌入式计算技术、智能组网技术、无线通信技术、分布式信息处理技术等，能够通过各类集成化的微型传感器的协作实时检测、感知和采集各种环境或监测对象的信息。通过嵌入式系统对信息进行处理，并通过随机自组织无线通信网络以多跳中继方式将所感知信息传送到接入层的基站节点和接入网管，最终到达用户终端，从而真正实现“无处不在”的物联网理念。

感知层涉及的主要技术，包括传感器技术、物品标识技术（RFID和二维码）以及短距离无线传输技术（ZigBee和蓝牙）等。

1.3.2 网络层

物联网是什么？我们经常会说RFID，这只是感知，其实感知的技术已经有，虽然未必成熟，但是开发起来并不困难。但是物联网的价值在什么地方？主要在于网，而不是在于物。感知只是第一步，但是感知的信息，如果没有一个庞大的网络体系，不能进行管理和整合，那这个网络就没有意义。

物联网的网络层可以理解为塔尖物联网的网络平台，建立在现有的移动通信网、互联网和其他专网的基础上，通过各种接入设备与上述网络相联。物联网的网络层在物联网架构体系中处于承上启下的作用。网络层是核心承载网络，承担物联网接入层和应用层之间的数据通信。网络层包括接入网和核心网，接入网为终端提供基本的网络接入功能、移动性管理、对现有接入技术的优化等，它包括各种有线接入、无线接入、卫星等技术。核心网是基于IP的统一、高性能、可扩展的分组网络，支持异构接入以及移动性。

在物联网中要求网络层能够把感知层感知到的数据无障碍、高可靠性、高安全性地进行传送，它解决的是感知层所获得的数据在一定范围内，尤其是远距离的传输问题。同时，物联网网络层将承担比现有网络更大的数据量和面临更高的服务质量要求，所以现有网络尚不能满足物联网的需求，这就意味着物联网需要对现有网络进行融合和扩展，利用新技术以

实现更加广泛和高效的互联功能。

由于物联网网络层是建立在 Internet 和移动通信网等现有网络基础上，除具有目前已经比较成熟的如远距离有线、无线通信技术和网络技术外，为实现“物物相连”的需求，物联网网络层将综合使用 Ipv6、2G/3G、WiFi 等通信技术，实现有线与无线的结合、宽带与窄带的结合、感知网与通信网的结合。同时，网络层中的感知数据管理与处理技术是实现以数据为中心的物联网的核心技术。感知数据管理与处理技术包括物联网数据的存储、查询、分析、挖掘、理解以及基于感知数据决策和行为的技术。

网络层的作用就是当感知层中的感应设备将物品信息传输到网络节点后，再通过网络层中的移动通信网、互联网和其他专用网络连接各个服务器，因此客户可以根据自己的需要获取物品信息。网络层要根据感知层的业务特征，优化网络特性，更好地实现物与物之间的通信、物与人之间的通信以及人与人间的通信。通信网络将成为物联网的基础承载网络，移动通信终端也可以实现与物联网终端的融合，从而为电信业务的发展带来新的机遇。

随着数据业务的发展和用户数量的增加，用户对移动通信网络容量的要求不断提高，传统的蜂窝网络结构日益显示出局限性，需要研究新型无线网络组网技术，以改善用户体验，提高小区边缘的数据服务速率，提高全网的业务容量，并达到降低网络建设、网络运行和维护成本的目的。新的网络架构以分布式和集中式相结合的混合式为主要控制方式，能够灵活支持多种不同的业务类型，并具有提供用户期望的服务质量的能力。在新型体系结构下，各个终端以用户业务为向导，根据用户对资源的需求、所付出的代价、用户服务等级，选择合适的控制方式、接入方式等。

1.3.3 应用层

“物联网”概念的问世，打破了之前传统思维。过去的思路一直是将物理基础设施和 IT 基础设施分开：一方面是机场、公路、建筑物；而另一方面是数据中心，个人计算机、宽带等。而在“物联网”时代，钢筋混凝土、电缆将与芯片、宽带整合为统一的基础设施，在此意义上，基础设施更像是一块新的地球工地，世界的运转就在它上面进行，其中包括经济管理、生产运行、社会管理乃至个人生活。

物联网应用层利用经过分析处理的感知数据，为用户提供丰富的特定服务，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。应用层是物联网发展的目的。应用层由各种应用服务器组成(包括数据库服务器)，它是物联网的信息处理和应用，相当于人所从事的不同职业。最终面向各类应用，实现信息的存储、数据的挖掘、应用的决策等。从应用场景看，物联网应用包含工业、农业、电力、医疗、家居、个人服务等人们可以预见的各种场景。应用层涉及海量信息的智能处理、分布式计算、中间件、信息发现等多种技术。具体而言，应用层将通信网络上层的应用信息进行翻译和传输、数据收集和集成，将所有的数据存储、智能分析等的结果，根据需要呈现给用户。其中，在智能分析这一层，云计算是控制的核心要素。

从应用层来看，整个社会将提供无所不在的网络，网络可了解使用者的使用环境与状况，了解不同使用者的个性与使用习惯，以实现定制化、多元化的服务提供。所有的使用过程必须人性化、拟人化，让人不需学习。从技术层来看，各种通信网络技术与互联网协议技术的发展以及云计算等革新带来的巨变，使得孤立的、小颗粒的传感网进一步发展成为广泛覆盖、网络互通、高速传输、无线连接、智能的物联网成为可能。

物联网应用层能够为用户提供丰富多彩的业务体验，然而，如何合理高效的处理从网络层传来的海量数据，并从中提取有效信息，是物联网应用层要解决的关键问题。在以后的章节将对应用层的 M2M 技术、用于处理海量数据的云计算技术等关键技术进行介绍。

本节对物联网架构体系从感知层、网络层、应用层分别进行了介绍。通过介绍各层的关键技术和在物联网中的功能，帮助读者更好地理解和研究物联网。

1.4 物联网的发展现状

1.4.1 国外物联网的发展现状

1. 欧盟

2008 年 10 月，欧洲物联网大会在法国召开，会议就 EPC global 网络架构在经济、安全、隐私和管理等方面问题进行广泛交流，为建立一套公平的、分布式管理的唯一标识符达成了共识。

2009 年 11 月，全球物联网会议上，欧盟执委会介绍了《欧盟物联网行动计划》，意在引领世界物联网发展。该计划提出以下政策建议：

(1) 加强物联网管理，包括制定一系列物联网的管理规则；建立一个有效的分布式管理架构，使全球管理机构可以公开、公平、尽责的履行管理职能。

(2) 完善隐私和个人数据保护，包括持续监测隐私和个人数据保护问题，修订相关立法，加强相关方对话等；执委会将针对个人可以随时断开联网环境开展技术、法律层面的辩论。

(3) 提高物联网的可信度、接受度、安全性。

(4) 推广标准化，执委会将评估现有物联网相关标准并推动制定新的标准，持续监测欧洲标准组织(ETSI、CEN、CENELEC)、国际标准组织(ISO、ITU)以及其他标准组织(IETF、EPC global 等)物联网标准的制定进度，确保物联网标准的制定是在各相关方的积极参与下，以一种开放、透明协商一致的方式达成。并且加强相关研发，包括通过欧盟第 7 期可言框架计划项目支持物联网相关技术研发，如微机电、非硅基组件、能量收集技术、无所不在的定位、无线通信智能系统网、语义学、基于设计层面的隐私和安全保护、软件仿真人工推理以及其他创新应用，通过公司伙伴模式(PPP)支持包括未来互联网等在内的项目建设，并将其作为刺激欧洲经济复苏措施的一部分。同时加快建立开放式的创新环境，通过欧盟竞争竞争力和创新框架计划(CIP)利用一些有助于提升社会福利的先导项目推动物联网部署，这些先导项目主要包括 e-health、e-accessibility、应对气候变迁、消除社会数字鸿沟等。

2. 日本

2003 年 3 月泛在识别中心(ubiquitous ID center，UID Center)在东京成立，具体负责研究和推广自动识别的核心技术，即在所有的物品上植入微型芯片，组建网络进行通信。确立和普及自动识别物品和所需的基础技术，进而最终实现泛在网络环境下 UID Center 建立的最终目的，即建立物联网。UID Center 的建立，得到了日本政府经济产业省和总务省以及大企业的支持，其中包括微软、索尼、三菱、日立、东芝、夏普、富士通等重量级企业，而且技术的应用也相当广泛。

2004年，日本信息通信产业的主管机关总务省超前提出了2006—2010年的IT发展任务“u-Japan战略”。目标是到2010年把日本建成一个充满朝气的国家，使所有的日本人，特别是儿童和残疾人，都能积极地参与日本社会的活动。通过无所不在的物联网，创建一个新的信息社会。

2009年7月，日本IT战略本部颁布了日本新一代的信息化战略——“I-Japan”战略，为了让数字信息技术融入每一个角落，首先将政策目标聚焦在三大公共事业：电子化政府治理、医疗健康信息服务、教育与人才培育，提出到2015年，通过数字技术达到“新的行政改革”，使行政流程简化、效率化、标准化、透明化，同时推动电子病历、远程医疗、远程教育等应用的发展。

3. 美国

2009年1月7日，IBM与美国智能库机构信息技术与创新基金会(ITIF)共同向奥巴马政府提交了《数字化道路能够提高生产率、创造就业机会，使美国更强大》报告，提出通过信息通信技术(ICT)投资可在短期内创造就业机会，美国政府只要新增300亿美元的ICT投资(包括智能电网、智能医疗、宽带网络3个领域)，便可以为民众创造出94.9万个就业机会。

2009年1月28日，在奥巴马就任总统后的首次美国工商业领袖圆桌会议上，IBM CEO彭明盛首次向刚刚上任的美国总统奥巴马提出“智慧地球”概念，建议新政府投资新一代的智慧型基础设施时，奥巴马就给予了积极的回应：“经济刺激资金将会投入到宽带网络等新兴技术中去，毫无疑问，这就是美国在21世纪保持和夺回竞争优势的方式。”奥巴马把“宽带网络等新兴技术”定位为振兴经济、确立美国全球竞争优势的关键战略，并在随后出台的总额7870亿美元《经济复苏和再投资法》中对上述战略建议具体加以落实。《经济复苏和再投资法》希望能从能源、科技、医疗、教育等方面着手，透过政府投资、减税等措施来改善经济、增加就业机会，并且同时带动美国长期发展，其中鼓励物联网技术发展政策主要体现在推动能源、宽带与医疗三大领域开展物联网技术的应用。

从选举到履新，新能源以及物联网不仅是奥巴马认为的全球经济新引擎，也是他许诺给美国人民的“美利坚未来”。有分析预测称，物联网建设很有可能被奥巴马政府上升为国家战略。

据称，美军目前已建立了具有强大作战空间态势感知优势的多传感器信息网，这可以说是物联网在军事运用中的雏形。美国国防高级研究项目管理局已研制出一些低成本的自动地面传感器，这些传感器可以迅速散布在战场上并与设在卫星、飞机、舰艇上的所有传感器有机融合，通过情报、监视和侦察信息的分布式获取，形成全方位、全频谱、全时域的多维侦察监视预警体系。据报道，在伊拉克战争中，美军多数打击兵器是靠战场感知行动临时传递的目标信息而实施对敌攻击的，甚至有人将信息化条件下作战称为“传感器战争”。

4. 韩国

2009年10月13日韩国通信委员会出台了《物联网基础设施构建基本规划》，将物联网市场确定为新增长动力。《物联网基础设施构建基本规划》提出到2012年实现“通过构建世界最先进的物联网基础设置，打造未来广播通信融合领域超一流信息通信技术强国”的目标，并确定了构建物联网基础设施、发展物联网服务，研发物联网技术、营造物联网扩散环境等4大领域、12项详细课题。韩国SK电讯将物联网确定为其未来事业战略“产业生产力提升(IPE)战略”的中心。在2009年11月18日韩国通信委员会主办的“物联网论坛成立纪念

研讨会”上，SK电讯的金禹荣部长表示，SK电讯可通过基于CDMA、WCDMA的传感器网络，提供包括远程抄表和车辆管制等在内的各类M2M应用，并表示将重点扶植M2M，以开拓IPE市场。

总之，国际上各个国家都把物联网列入到可视化发展的重要决策之中，并且大力投入资金不断地进行研发和应用，使得物联网正式全面地进入到全世界的每一个角落。EPOSS在*Internet of Things in* 2020报告中分析预测，未来物联网的发展将经历4个阶段，2010年前RFID被广泛应用于物流、零售和制药领域，2010—2015年物体互联，2015—2020年物体进入半智能化，2020年之后物体进入全智能化。作为物联网发展的排头兵，RFID成为市场最为关注的技术。数据显示，2008年全球RFID市场规模已从2007年的49.3亿美元上升到52.9亿美元，这个数字覆盖了RFID市场的方方面面，包括标签、阅读器、其他基础设施、软件和服务等。RFID卡和卡相关基础设施将占市场的57.3%，达30.3亿美元。来自金融、安防行业的应用将推动RFID卡类市场的增长。RFID市场规模将达到50亿元，年复合增长率为33%，其中电子标签超过38亿元、读写器接近7亿元、软件和服务达到5亿元的市场格局。

1.4.2 国内物联网的发展现状

对我国而言，物联网发展还具有特别的战略意义。互联网诞生于美国，多年来，美国一直引领着互联网的发展。面对新兴的物联网，我国与其他国家都处于同一起跑线上，这无疑为我国摆脱发达国家在网络技术上的垄断提供了一次良机。事实上，我国的科研机构早在1999年就提出了“感应网络”的概念，现在我国在某些感应技术方面也处于世界领先水平。因此，在未来的物联网浪潮之中，我国完全有可能、也有潜力站在世界之巅。

早在2003年12月，国家标准化管理委员会同科技部就在北京召开了“物流信息新技术——物联网及产品电子代码(EPC)研讨会暨第一次物流信息新技术联席会议”。

2004年4月22日，EPC global China——全球产品电子代码(EPC)中国宣布正式成立，并在北京国际会议中心举行了隆重的揭牌仪式。由国家标准化管理委员会主办，中国标准化研究院与中国物品编码中心承办的2004首届中国国际EPC与物联网高层论坛及EPC与物联网第二届联席会也同期举行。2004年10月11日第二届国际EPC与物联网高层论坛在上海展览中心友谊会堂召开。

2009年8月7日，国务院总理温家宝在中科院无锡高新微纳传感网工程技术研发中心考察并发表重要讲话。“在传感网发展中，要早一点谋划未来，早一点攻破核心技术。”温家宝指出，至少3件事情可以尽快去做：一是把传感系统和3G中的TD技术结合起来；二是在国家重大科技专项中，加快推进传感网发展；三是尽快建立中国的传感信息中心，或者叫“感知中国”中心。至此物联网正式进入大众眼球，此时中国要抓住机遇，大力发展物联网技术。随后总理又在多个场合提及要将物联网纳入中国未来发展规划中。

2009年8月下旬召开的中国工业经济运行2009年夏季报告会上，工信部总工程师朱宏任表示，中国有关部分正在联合开展包括物联网在内的新一代信息技术的研究，以明确其新的发展方向，并形成支持这些技术的新政策，进而推动整个经济的发展。

2009年9月11日，工信部传感器网络标准化工作小组的成立，标志着我国将加快制定符合我国发展需求的传感网技术标准，力争主导制定传感网国际标准。

2009年10月11日，工业和信息化部部长李毅中在科技日报上发表题为《我国工业和信息化发展的现状与展望》的署名文章。在文章中，李毅中表示，信息技术的广泛渗透和深度应用将催生出一批新增长点，应深入推进信息化与工业化融合，启动“传感网络”的研发应用。

2009年11月3日，温家宝总理在人民大会堂向首都科技界发表了题为《让科技引领中国可持续发展》的讲话，再次强调科学选择新兴战略性产业非常重要，并指示要着力突破传感网、物联网关键技术。

2009年11月12日中国移动与无锡市人民政府签署“共同推进TD-SCDMA与物联网融合”战略合作协议，中国移动将在无锡成立中国移动物联网研究院，重点开展TD-SCDMA与物联网融合的技术研究与应用开发。

2009年12月11日，工信部开始统筹部署宽带普及、三网融合、物联网及下一代互联网发展。

在“两会”期间，从各委员代表们的提议中同样可以看出，物联网的发展是一种趋势，是不可避免的。2010年3月3日，两会拉开序幕。全国政协委员、中国移动总裁王建宙的提案是：“发展物联网，推动信息化。”这是产业当前面临的热点问题。王建宙表示，“今后要把TD无线城市与物联网紧密结合起来，推动各项应用发展。”

2010年3月5日，国务院总理温家宝在十一届全国人大三次会议上作政府工作报告时指出，大力培育战略性新兴产业。积极推进“三网”融合取得实质性进展，加快物联网的研发应用。

2010年3月8日，全国人大代表、浙江省电信有限公司总经理张新建表示，中国应将物联网建设上升为国家战略，并要掌握国际话语权。对于中国的物联网建设，张新建认为，国家在“十二五”规划中要体现物联网发展的目标和思路。在建设上，国家应加大政策扶持力度，“政府可建立‘物联网基金’提供专项资金以及税收等方面的优惠政策。”

浙江联通总经理沈明才在全国“两会”上表示，物联网是一个庞大的发展机会，建议国家尽快制定物联网相关标准体系，统一技术和接口标准，进一步确立并扩大我国在物联网领域国际标准制定上的发言权。

1.5 物联网应用

物联网的概念是在1999年提出的。1999年，在美国召开的移动计算和网络国际会议就提出，“传感网是下一个世纪人类面临的又一个发展机遇”。所谓“物联网”指的是将各种信息传感设备，如射频识别(RFID)装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等种种装置与互联网结合起来而形成的一个巨大网络。其目的是让所有的物品都与网络连接在一起，方便识别和管理。2003年，美国《技术评论》提出传感网络技术将是未来改变人们生活的十大技术之首。2005年11月17日，在突尼斯举行的信息社会世界峰会(WSIS)国际电信联盟上，ITU发布的报告系统地介绍了意大利、日本、韩国与新加坡等国家的案例，并提出了“物联网时代”的构想。世界上的万事万物，小到钥匙、手表、手机，大到汽车、楼房，只要嵌入一个微型的射频芯片或传感器芯片，通过互联网就能够实现物与物之间的信息交互，从而形成一个无所不在的“物联网”。根据ITU的描述，在物联网时代，通过在各种各样的日

常用品上嵌入一种短距离的移动收发器,人类在信息与通信世界里将获得一个新的沟通维度,从任何时间任何地点的人与人之间的沟通连接扩展到人与物和物与物之间的沟通连接。

1.5.1 物联网应用现状

目前,国外对物联网的研究、应用主要集中在美、欧、日、韩、德少数国家,其最初的研究方向主要是条形码、RFID等技术在商业零售、物流领域应用。而随着RFID、传感器技术、近程通信以及计算机技术等的发展,近年来其研发、应用开始拓展到环境监测、生物医疗、智能基础设施等领域。就目前而言,物联网的相关技术仍然在开发测试阶段,距离不同系统之间的融合、物与物之间的普遍链接的远期目标还存在一定差距。中国的物联网产业是全球物联网产业的重要组成部分,正面临大发展的历史机遇。以安防、家居、电力、交通、医疗、物流等为代表的一些国民经济重点行业开始逐渐接受物联网概念,采用物联网相关技术和产品,应用于行业的生产、服务各个环节。数据整理显示:2010年国内物联网主要行业应用中,安防(安全防护、防入侵、智能家居)、电力、交通3大行业位居前列。安防行业的应用遥遥领先,占据了接近一半的市场份额(43%),规模接近900亿元。其中,智能家居占26%,规模超过500亿元;网络视频监控市场也是其中一个重要应用领域,占到15%的市场份额。电力行业和交通行业是掌握国民经济命脉的重要行业,其物联网应用也获得了较快的发展,市场份额分别达到15%和9%左右,市场规模分别为大约300亿元和190亿元。重要的应用行业还包括物流、医疗、手机支付等,并正在逐渐渗透到其他各行业和经济领域。物联网的应用其实不仅仅是一个概念而已,它已经在很多领域有应用,只是并没有形成大规模应用。

常见的应用案例有:

(1) 物联网传感器产品已率先在上海浦东国际机场防入侵系统中得到应用。机场防入侵系统铺设了3万多个传感节点,覆盖了地面、栅栏和低空探测,可以防止人员的翻越、偷渡、恐怖袭击等攻击性入侵。而就在不久之前,上海世博会也与无锡传感网中心签下订单,购买防入侵微纳传感网1500万元产品。

(2) ZigBee路灯控制系统点亮济南园博园。ZigBee无线路灯照明节能环保技术的应用是此次园博园中的一大亮点。园区所有的功能性照明都采用了ZigBee无线技术达成的无线路灯控制。

(3) 智能交通系统(ITS)是利用现代信息技术为核心,利用先进的通信、计算机、自动控制、传感器技术,实现对交通的实时控制与指挥管理。交通信息采集被认为是ITS的关键子系统,是发展ITS的基础,成为交通智能化的前提。无论是交通控制还是交通违章管理系统,都涉及交通动态信息的采集,交通动态信息采集也就成为交通智能化的首要任务。

近年来,国家发改委、科技部、工信部等相关部门分别支持了一批RFID、传感器网络和智能传感器项目,金卡工程还启动了一批RFID行业(地方)应用试点工程,但目前大多应用项目是以闭环应用为主,规模化的应用还处于起步阶段。

据悉,物联网"十二五"规划对物联网企业的政策扶持仍将集中于重大应用项目。"十二五"物联网十大应用的重点领域分别是智能电网、智能交通、智能物流、智能家居、环境与安全检测、工业与自动化控制、医疗健康、精细农牧业、金融与服务业、国防军事。拥有自主知识产权的物联网骨干企业或将获得更多的财政支持。目前我国的芯片研发、制造、封装与国

外尚存在一定的差距，考虑到物联网产业的信息安全以及抢夺物联网产业发展制高点的目标要求，芯片厂商被寄予厚望。

1.5.2 物联网的主要应用领域

目前，物联网在全球尚处于起步阶段，各国基本处在同一起跑线上。因此，抓住难得的战略机遇，加快推进物联网发展，是增强我国国际竞争力的必然选择。先于中央政府，各地方政府已经纷纷出台了物联网发展的相关规划，明确了未来3～5年物联网发展目标和重点应用领域。在已经出台的地方规划中，上海、江苏、广东、陕西、辽宁等省市都将物联网列为智能电网3～5年发展规划中的重点发展领域。不仅纷纷出台物联网的规划，物联网的试点项目也在各地风风火火地开展起来，在国家政策的推动下，各省市物联网产业蓬勃发展起来，我国物联网开始了产业化的序幕。物联网作为一个新兴产业，又成为地方经济大施拳脚、相互角逐的舞台。目前中国电信物联网应用和推广中心、中国电信物联网技术重点实验室开发了11项物联网应用产品，具体如下：

(1) 智能家居

智能家居产品融合自动化控制系统、计算机网络系统和网络通信技术于一体，将各种家庭设备(如音视频设备、照明系统、窗帘控制、空调控制、安防系统、数字影院系统、网络家电等)通过智能家庭网络联网实现自动化，通过中国电信的宽带、固话和3G无线网络，可以实现对家庭设备的远程操控。与普通家居相比，智能家居不仅提供舒适宜人且高品位的家庭生活空间，实现更智能的家庭安防系统，还将家居环境由原来的被动静止结构转变为具有能动智慧的工具，提供全方位的信息交互功能。

(2) 智能医疗

智能医疗系统借助简易实用的家庭医疗传感设备，对家中病人或老人的生理指标进行自测，并将生成的生理指标数据通过中国电信的固定网络或3G无线网络传送到护理人或有关医疗单位。根据客户需求，中国电信还提供相关增值业务，如紧急呼叫救助服务、专家咨询服务、终生健康档案管理服务等。智能医疗系统真正解决了现代社会子女们因工作忙碌无暇照顾家中老人的无奈，可以随时表达孝子情怀。

(3) 智能城市

智能城市产品包括对城市的数字化管理和城市安全的统一监控。前者利用“数字城市”理论，基于3S(地理信息系统GIS、全球定位系统GPS、遥感系统RS)等关键技术，深入开发和应用空间信息资源，建设服务于城市规划、城市建设和管理，服务于政府、企业、公众，服务于人口、资源环境、经济社会的可持续发展的信息基础设施和信息系统。后者基于宽带互联网的实时远程监控、传输、存储、管理的业务，利用中国电信无处不达的宽带和3G网络，将分散、独立的图像采集点进行联网，实现对城市安全的统一监控、统一存储和统一管理，为城市管理和建设者提供一种全新、直观、视听觉范围延伸的管理工具。

(4) 智能环保

智能环保产品通过对实施地表水水质的自动监测，可以实现水质的实时连续监测和远程监控，及时掌握主要流域重点断面水体的水质状况，预警预报重大或流域性水质污染事故，解决跨行政区域的水污染事故纠纷，监督总量控制制度落实情况。太湖环境监控项目，通过安装在环太湖地区的各个监控的环保和监控传感器，将太湖的水文、水质等环境状态提

供给环保部门，实时监控太湖流域水质等情况，并通过互联网将监测点的数据报送至相关管理部门。

（5）智能交通

智能交通系统包括公交行业无线视频监控平台、智能公交站台、电子票务、车管专家和公交手机一卡通5种业务。

公交行业无线视频监控平台利用车载设备的无线视频监控和GPS定位功能，对公交运行状态进行实时监控。

智能公交站台通过媒体发布中心与电子站牌的数据交互，实现公交调度信息数据的发布和多媒体数据的发布功能，还可以利用电子站牌实现广告发布等功能。

电子门票是二维码应用于手机凭证业务的典型应用，从技术实现的角度，手机凭证业务就是以手机为平台，以手机身后的移动网络为媒介，通过特定的技术实现完成凭证功能。

车管专家利用全球卫星定位技术（GPS）、无线通信技术（CDMA）、地理信息系统技术（GIS）、中国电信3G等高新技术，将车辆的位置与速度，车内外的图像、视频等各类媒体信息及其他车辆参数等进行实时管理，有效满足用户对车辆管理的各类需求。

公交手机一卡通将手机终端作为城市公交“一卡通”的介质，除完成公交刷卡功能外，还可以实现小额支付、空中充值等功能。

测速通过将车辆测速系统、高清电子警察系统的车辆信息实时接入车辆管控平台，同时结合交警业务需求，基于GIS地理信息系统，通过3G无线通信模块实现报警信息的智能、无线发布，从而快速处置违法、违规车辆。

（6）智能司法

智能司法是集监控、管理、定位、矫正于一身的管理系统。能够帮助各地各级司法机构降低刑罚成本、提高刑罚效率。目前，中国电信已实现通过CDMA独具优势的GPSONE手机定位技术对矫正对象进行位置监管，同时具备完善的矫正对象电子档案、查询统计功能，并包含对矫正对象的管理考核，给矫正工作人员的日常工作带来信息化、智能化的高效管理平台。

（7）智能农业

智能农业产品通过实时采集温室内温度、湿度信号以及光照、土壤温度、CO_2浓度、叶面湿度、露点温度等环境参数，自动开启或者关闭指定设备。可以根据用户需求，随时进行处理，为设施农业综合生态信息自动监测，对环境进行自动控制和智能化管理提供科学依据。通过模块采集温度传感器等信号，经由无线信号收发模块传输数据，实现对大棚温湿度的远程控制。智能农业产品还包括智能粮库系统，该系统通过将粮库内温湿度变化的感知与计算机或手机的连接进行实时观察，记录现场情况以保证量粮库内的温湿度平衡。

（8）智能物流

智能物流打造了集信息展现、电子商务、物流配载、仓储管理、金融质押、园区安保、海关保税等功能为一体的物流园区综合信息服务平台。信息服务平台以功能集成、效能综合为主要开发理念，以电子商务、网上交易为主要交易形式，建设高标准、高品位的综合信息服务平台，并为金融质押、园区安保、海关保税等功能预留了接口，可以为园区客户及管理人员提供一站式综合信息服务。

(9) 智能校园

中国电信的校园手机一卡通和金色校园业务,促进了校园的信息化和智能化。

校园手机一卡通主要实现功能包括电子钱包、身份识别和银行圈存。电子钱包即通过手机刷卡实现主要校内消费;身份识别包括门禁、考勤、图书借阅、会议签到等;银行圈存即实现银行卡到手机的转账充值、余额查询。目前校园手机一卡通的建设,除了满足普通一卡通功能外,还实现了借助手机终端实现空中圈存、短信互动等应用。

中国电信实施的"金色校园"方案,帮助中小学行业用户实现学生管理电子化,老师排课办公无纸化和学校管理的系统化,使学生、家长、学校三方可以时刻保持沟通,方便家长及时了解学生学习和生活情况,通过一张薄薄的"学籍卡",真正达到了对未成年人日常行为的精细管理,最终达到学生开心、家长放心、学校省心的效果。

(10) 智能文博

智能文博系统是基于 RFID 和中国电信的无线网络,运行在移动终端的导览系统。该系统在服务器端建立相关导览场景的文字、图片、语音以及视频介绍数据库,以网站形式提供专门面向移动设备的访问服务。移动设备终端通过其附带的 RFID 读写器,得到相关展品的 EPC 编码后,可以根据用户需要,访问服务器网站并得到该展品的文字、图片语音或者视频介绍等相关数据。该产品主要应用于文博行业,实现智能导览及呼叫中心等应用拓展。

(11) M2M 平台

中国电信 M2M 平台是物联网应用的基础支撑设施平台。秉承发展壮大民族产业的理念与责任,凭借对通信、传感、网络技术发展的深刻理解与长期的运营经验,中国电信 M2M 协议规范引领着 M2M 终端、中间件和应用接口的标准统一,为跨越传感网络和承载网络的物联信息交互提供表达和交流规范。在电信级 M2M 平台上驱动着遍布各行各业的物联网应用逻辑,倡导基于物联网络的泛在网络时空,让广大消费者尽情享受物联网带来的个性化、智慧化、创新化的信息新生活。

1.6 本章小结

本章系统地介绍了物联网的基本概念,物联网与互联网的区别和联系,物联网的产生和发展状况,以及物联网的体系结构,在了解物联网的基本概念的基础上,分析了物联网的应用领域和应用现状,以及对未来物联网的发展前景的预测和展望。主要内容如下:

(1) 物联网是实现人与物、物与物的互联,使人类对客观世界具有更透彻的感知能力,更全面的认识能力,更为智慧的处理能力。

(2) 详细地说明了物联网与互联网、传感网、泛在网的区别和联系,互联网和传感网是实现物联网的基础,泛在网是物联网的最终实现形式。

(3) 根据我们对物联网概念的理解,提出了物联网的基本体系结构,大致分为 3 层,即感知层、网络层和应用层。感知层负责采集信息,网络层负责传输信息,应用层负责实现智能化。

(4) 物联网的应用领域十分广泛,目前中国电信物联网应用和推广中心、中国电信物联网技术重点实验室开发了智能家居、智能医疗、智能城市、智能交通、智能物流、智能校园等 11 项物联网应用产品。

习 题

1. 简述物联网的定义,分析物联网的"物"的条件。
2. 物联网与互联网的区别?
3. 简述物联网的3层体系结构。
4. 物联网应具备的3个特征是什么?
5. 举例说明物联网的应用领域及前景。

第2章

射频识别技术

物联网的感知包括3个过程：感知、传输与计算，从物联网技术体系结构角度解读物联网，可以将物联网分为4个层次：感知技术、传输技术、支撑技术与应用技术。感知技术是指能够用于物联网底层感知信息的技术，它包括RFID与RFID读写技术、传感器与传感技术、机器人智能感知技术、遥测遥感技术及IC卡与条码技术等。传输技术是指能够汇聚感知数据，并实现物联网数据传输的技术，它包括互联网技术、地面无线传输技术以及卫星通信技术等。支撑技术是指用于物联网数据处理和利用的技术，它包括云计算与高性能计算技术、智能技术、数据库与数据挖掘技术、GIS/GPS技术、通信技术及微电子技术等。应用技术是指用于物联网应用系统运行的技术，它包括物联网信息共享交互平台技术、物联网数据存储技术以及各种行业物联网应用系统。本章主要从感知技术层面来介绍和理解物联网，传输技术、支撑技术和应用技术将在后续的章节中逐步进行介绍。

2.1 RFID简介

2.1.1 RFID概述

RFID是radio frequency identification的缩写，即射频识别技术，实际上是自动识别技术(automatic equipment identification，AEI)在无线电技术方面的具体应用与发展。它通过无线射频方式进行非接触双向数据通信，对目标加以识别并获取相关数据，可以实现快速读写、非可视识别、移动识别、多目标识别、定位及长期跟踪管理。RFID主要由读卡器、天线和电子标签组成，利用相距几厘米到几米距离内读写器发射的无线电波，可以读取电子标签内储存的信息，识别电子标签代表的物品、人和器具。

由于RFID技术无须人工干预，不受恶劣环境的影响，且读取速度快，读取信息安全可靠，因此这项技术被广泛的应用于生产、物流、交通、运输、医疗、防伪、跟踪、设备和资产管理等需要收集和处理数据的应用领域。在国外RFID技术发展非常迅速，产品种类繁多，高速公路自动收费及交通管理、门禁保安、RFID卡收费、生产线自动化、仓储管理、汽车防盗、电子物品监视系统、畜牧管理与动物识别、火车和汽车运输集装箱的识别、运动计时、军事物流、智能图书馆管理、图书仓储配送和档案管理等都在大量使用该技术；在国内，由于RFID技术起步较晚，应用的领域不是很广，目前，电子标签主要用于公共交通、地铁、校园、社会保障等方面，如射频公交卡、第二代公民身份证等。

作为一个崭新的技术应用领域，RFID技术不仅涵盖了微波技术与电磁学理论、自动识

别理论与技术，而且还融合了无线通信技术、半导体集成电路技术、传感器网络技术、网格技术、普适计算技术、软件中间件技术以及供应链与物流管理技术等诸多新兴技术和应用，在未来的发展中它将融合更多的高新技术，由单一识别向多功能识别方向发展，同时实现跨地区、跨行业的应用。

2.1.2 RFID技术的发展历程和趋势

1. RFID技术发展历程

RFID技术的最早应用可以追溯至第二次世界大战时期，至今已有60年的历史，那时它被美军用来在空中识别自己和盟军的飞机，但是由于技术和成本原因，RFID技术一直没有得到广泛应用。此后在从军事领域转向市场更为广阔的医疗、零售、海关等民用领域时，RFID技术经历了一个循序渐进的过程，大规模集成电路、网络通信、信息安全等技术在近年来的迅速发展，为RFID技术进入商用阶段提供了重要的推动力。RFID技术的发展基本可按10年期划分为如下几个阶段（见表2-1-1）。

表2-1-1 RFID技术的发展阶段

时　间	阶　段
1941—1950年	雷达的改进和应用催生了RFID技术，1948年奠定了RFID技术的理论基础
1951—1960年	早期RFID技术的探索阶段，主要处于实验室实验研究阶段
1961—1970年	RFID技术的理论得到了发展，开始了一些应用尝试
1971—1980年	RFID技术与产品研发处于一个大发展时期，各种RFID技术得到了加速发展，出现了一些最早的应用
1981—1990年	RFID技术及产品进入商业应用阶段，各种封闭应用系统开始出现
1991—2000年	RFID技术标准化问题日趋得到重视，RFID产品得到广泛应用
2001年至今	标准化问题日趋为人们重视，产品种类更加丰富，电子标签成本不断降低

近年来，RFID技术在国外发展很快，像德州仪器、摩托罗拉、飞利浦等世界著名厂家都在生产RFID产品，并且各有特点，自成系列。美国有线新闻网也将RFID技术列为影响21世纪发展的十大技术之一。RFID产品全世界的市场销售额，1989年仅为8050万美元，到2004年已达到了18.2亿美元，市场增长率达到了32.8%，另据市场研究机构ABI Research的最新报告指出，虽然在2008年与2009年遭遇经济衰退，但RFID市场在2010年复原状况良好，成长率略高于14%，达到53亿美元。

如今，RFID技术已经引发了一场席卷各个行业的变革，内容主要为节省成本与提升运转效率。世界500强之首的沃尔玛则是这场变革的重要推动者。从2001年1月1日起，沃尔玛的100家大供货商纷纷在其商品上附加了RFID标签。根据沃尔玛提出的要求，截至2007年年初，为其提供货品的小供应商也将在其商品上附加RFID的标签。沃尔玛的RFID举措，震动了整个物流和零售业界。随后，欧洲最大的超市麦德龙也宣布了类似的计划，各国零售商和IT巨头也纷纷加紧开发RFID专用的软件和硬件，除了上述提到的两家外，还包括SAP、Oracle、微软、IBM、惠普等公司都纷纷采用了RFID技术。

我国在RFID技术的研究方面也发展很快，市场培育已初步开花结果，但是相对于欧美

等发达国家或地区，我国在 RFID 技术上虽然产业链基本形成，仍不是很完善。目前，我国 RFID 企业总数已超过 100 家，但是缺乏关键核心技术，特别是在超高频 RFID 方面。从包括芯片、天线、标签和读写器等硬件产品来看，低高频 RFID 技术门槛较低，国内发展较早，技术较为成熟，产品应用广泛，目前处于完全竞争状况；超高频 RFID 技术门槛较高，国内发展较晚，技术相对欠缺，从事超高频 RFID 产品生产的企业很少，更缺少具有自主知识产权的创新型企业。从产业链上看，RFID 的产业链主要由芯片设计、标签封装、读写设备的设计和制造、系统集成、中间件、应用软件等环节组成。目前我国还未形成成熟的 RFID 产业链，产品的核心技术基本还掌握在国外公司的手里，尤其是芯片、中间件等方面。此外，RFID 标准迟迟没有出台，电子标签价格较高以及国内用户对 RFID 认知不够这些因素的影响，都对我国 RFID 产业及市场的发展造成了一定的障碍。

总之，在 RFID 技术的诞生之日，人们恐怕无法预料到其会从最初的军事应用领域扩展至目前国民生产所涉及的各个行业。然而今天，RFID 技术的应用天地空前广阔，甚至在将来会呈现出“睁开眼睛所看到的任何东西无不应用了 RFID 技术”的局面，这正是整个社会对于信息化需求的体现，同时也是 RFID 技术自身不断发展的结果。

2. RFID 技术未来发展趋势

就技术而言，在未来的几年中，RFID 技术将继续保持高速发展的势头。电子标签、读写器、系统集成软件、公共服务体系、标准化等方面都将取得新的进展，伴随着关键技术的不断进步，RFID 产品的种类将越来越丰富，应用和衍生的增值服务也将越来越广泛。RFID 芯片设计与制造技术的发展趋势是芯片功耗更低，作用距离更远，读写速度与可靠性更高，成本不断降低。RFID 标签封装技术将和印刷、造纸、包装等技术结合，导电油墨印制的低成本标签天线、低成本封装技术将促进 RFID 标签的大规模生产，并成为未来一段时间内决定产业发展速度的关键因素之一。RFID 读写器设计与制造的发展趋势是读写器将向多功能、多接口、多制式、并向模块化、小型化、便携式、嵌入式方向发展。同时，多读写器协调与组网技术将成为未来发展方向之一。RFID 技术与条码、生物识别等自动识别技术，以及与互联网、通信、传感网络等信息技术融合，构筑一个无所不在的网络环境。其发展趋势具体体现在以下几个方面。

(1) 个性化将成为 RFID 技术重要发展趋势

随着 RFID 资源型应用深入发展，多样化、个性化在 RFID 技术发展中具有十分重要的地位。标签产品个性化以适应各种不同物品、环境、制造工艺；标签产品多样化，芯片频率、容量、天线、封装材料等组合形成产品系列化；通过与不同传感器的融合，实现不同数据的采集及传输单一功能向多功能发展；物品单品级标识应用，一物一码，个性化印刷，标签包装一体化将是 RFID 技术今后的发展趋势。

(2) 各国加快推进 RFID 技术广泛深入应用

由于 RFID 技术被认为是带动经济发展的助推器，同时也是迈入信息社会的重要基础，世界各国均高度重视 RFID 技术研发和应用，并将推进 RFID 产业作为抢占未来国际市场竞争制高点的主要举措，纷纷制定了产业发展政策，从资金、税收、人才等方面支持 RFID 产业发展和标准制定，并加快推进 RFID 技术在交通运输、食品安全、海关通关等各领域应用。以应用带动技术研发和产业发展，并试图掌握在国际标准制定中的话语权，逐渐控制整个 RFID 产业链。

(3) RFID产业将保持平稳增长态势

随着RFID技术的发展演进以及成本的降低，未来几年内，全球开放的市场将为RFID带来巨大的商机。据ABI研究公司预测，到2013年，全球RFID市场将从2008年的不到60亿美元增长到110.4亿美元，这个市场从2008年至2013年的复合年增长率将达到大约15%。该报告将这个市场分为四大类应用：门禁控制、资产管理、供应链管理和交通运输，此外，还有其他类的应用，包括运动和医疗卫生。该公司的分析认为，安全类的RFID应用将占到全球市场份额中的30%，而供应链的需求量届时将占到40亿美元。此外，RFID系统集成服务市场也将得到快速增长。

(4) RFID标准之争更加激烈

ISO/IEC在RFID标准化工作方面做了大量的工作，其制定的RFID国际标准涉及RFID领域的各个方面，被大多数国家接受和认同。一些RFID后发国家(如韩国、日本、南非等)加快了自主知识产权标准的研究与制定，针对某些RFID新兴领域(如移动RFID等)开展大量的标准化工作，并力图成为国际标准，提升本国在RFID国际标准中的地位。欧盟利用其地区合作优势，在RFID技术的推广和标准化方面取得了比较大的进展，近年来在全球RFID标准互操作性方面更是进行了大量的研究。此外，一些产业联盟也开展了特定领域的RFID标准化工作，并都在积极促成其标准转化为更具影响力的国际标准。目前各个国际标准之间缺乏达成一致的基础，尚未形成统一的国际标准。

2.1.3 RFID技术的应用领域

作为21世纪的十大重要技术之一，RFID技术的应用已经越来越普及，涉及现实生活中的方方面面，下面介绍几种典型的实例。

1. 高速公路自动收费及智能交通系统

高速公路自动收费系统是射频识别技术最成功的应用之一。目前，中国的高速公路发展非常快，而高速公路收费却存在一些问题：一是在收费站口，许多车辆要停车排队，成为交通瓶颈；二是少数不法的收费员贪污路费，使国家蒙受了财政损失。而RFID技术应用在高速公路自动收费上体现为不停车收费，“不停车收费”是交通部倡导的收费技术的重要发展方向，它可以减少不必要的启、停车次数，不仅可以加快汽车行驶速度，节省车辆在收费车道的通行时间，还能降低车辆燃油消耗，减少汽车尾气排放量，促进环境的改善，同时可以解决收费员贪污路费及交通拥堵的问题。不停车收费系统是传统的交通行业与目前较为先进的信息技术相结合的产物，是未来公路收费系统的发展趋势，与现行的人工收费、半自动收费相比，它具有明显的优势。

2. 停车场智能化管理

停车场管理系统采用射频读卡技术，用户持特定的感应卡进出停车场，使用感应卡读卡器来分辨停车场的用户，停车场收费、月租卡的发售及临时卡的授权均由收费计算机完成，可自动调用每一车辆的进场时及出场时存入的数据，并自动计算出收费金额，实现真正的智能化管理。而且系统用视窗操作，中文菜单显示，使用者能轻易掌握系统的操作。驾驶员无须停车，系统自动识别车辆，完成放行(禁止)、记录等管理功能，从而达到节约进出场的时间、提高工作效率，杜绝管理费的流失等目的。

3. 生产线自动化

用 RFID 技术在生产流水线上实现自动控制、监视，可以提高生产率，改进生产方式，节约成本。下面举例以说明在生产线上应用 RFID 技术的情况：德国宝马汽车的生产是基于用户提出的要求式样而生产的，用户可以从上万种内部和外部选项中，选定自己所需车的颜色、引擎型号和轮胎式样等，宝马公司在其装配流水线上配有 RFID 系统，使用可重复使用的射频卡，该射频卡上带有汽车所需的所有详细的要求，在每个工作点处都有读写器，这样可以保证汽车在各个流水线位置，能毫不出错地完成装配任务，从而实现生产线的自动化。

4. 仓储管理

将 RFID 系统用于智能仓库货物管理，能有效地解决与货物流动有关的信息管理，不但增加了处理货物的速度，还可监视货物的一切信息。射频卡贴在货物所通过的仓库大门边上，读写器和天线都放在叉车上，每个货物都贴有条码，所有条码信息都被存储在仓库的中央计算机里，与该货物有关的信息都能在计算机里查到。当货物出库时，由另一读写器识别并告知中央计算它被放在哪个拖车上，这样，管理中心可以实时地了解到已经生产了多少产品和发送了多少产品。

5. 公共交通电子车票

使用电子标签来代替各种“卡”，实现现金结算，解决了现金交易不方便也不安全以及以往的各种磁卡、IC 卡容易损坏的问题，而且电子标签用起来方便快捷，还可以同时识别几张电子标签，并行收费，因此射频识别系统，特别是非接触 IC 卡应用潜力最大的领域之一就是公共交通领域。使用非接触式 IC 卡作为电子车票，具有使用方便、可以缩短交易时间，降低运营成本等优势。我国大城市的公共汽车异常拥挤、环境条件差，电子车票的使用有助于改善这种情况。

6. 汽车防盗

这是 RFID 较新的应用。由于已经开发了足够小的，能够封装到汽车钥匙当中，含有特定码字的射频卡，在汽车上装有读写器。当钥匙插入到点火器中时，读写器能够辨别钥匙的身份，如果读写器接收不到射频卡发送来的特定信号，汽车的引擎将不会发动。

射频卡还可应用于寻找丢失的汽车。在城市的各主要街道路线处埋设 RFID 的天线系统，只要车辆带有射频卡，则在路过任何天线读写器时，该汽车的 ID 号和当时时间都将会被自动记录，并被返回到城市交通管理中心的计算机中，除了城市街道埋设天线外，警察还开动若干辆带有读写器的流动巡逻车，更加方便地监测车辆的行踪。如果车辆被盗，就将很方便快捷地找回。

7. 邮件、邮包的自动分拣系统

RFID 技术已经成功应用到邮政领域的邮包自动分拣系统中，该系统具有非接触、非视线数据传输的特点，所以包裹传送中可以不考虑包裹的方向性问题，另外，当多个目标同时进入识别区域时，可以同时识别，大大提高了货物分拣能力和处理速度，由于电子标签可以记录包裹的所有特征数据，更有利于提高邮包分拣的准确性。

8. 动物的跟踪和管理

该领域的发展起步于赛马的识别，是用小玻璃封装的射频卡植于动物皮下。射频卡大约 10mm 长，内有一个线圈，约 1000 圈的细线绕在铁氧体上，读写距离是十几厘米。从赛马

识别发展到了标识牲畜。牲畜的识别提供了现代化管理牧场的方法。在大型养殖场,可以通过采用射频识别技术建立饲养档案、预防接种档案等,达到高效、自动化管理动物的目的,同时为食品安全提供保障。

9. 门禁保安

未来的门禁保安系统均可应用射频卡,一卡可以多用。比如,可以作为工作证、出入证、停车卡、饭店住宿卡甚至旅游护照等,目的都是识别人员身份、安全管理、收费等。这样做的好处是简化出入手续、提高工作效率、安全保护。只要人员佩戴了封装成 ID 卡大小的射频卡,进出入口有一台读写器,人员出入时该系统会自动识别身份,非法闯入会有报警。安全级别要求高的地方,还可以结合其他的识别方式,将指纹、掌纹或颜面特征存入射频卡。

公司还可以用射频卡保护和跟踪财产。将射频卡贴在物品上面,如计算机、传真机、文件、复印机或其他实验室用品上。该射频卡使得公司可以自动跟踪管理这些有价值的财产,可以跟踪一个物品从某一建筑离开,或是用报警的方式限制物品离开某地,结合 GPS 系统利用射频卡,还可以对货柜车、货舱等进行有效跟踪。

10. 产品防伪

伪造在世界各地都是令人头疼的问题,将 RFID 技术应用在防伪领域有它自身的技术优势。防伪技术本身要求成本低,且难于伪造。射频卡的成本就相对便宜,而芯片的制造需要有昂贵的芯片工厂,使伪造者望而却步。射频卡本身有内存,可以储存、修改与产品有关的数据,利于销售商使用,而且它体积十分小、便于产品封装,像计算机、激光打印机、电视等产品上都可使用。特别是利用这种技术不用改变现行的数据管理体制,唯一的产品标识号完全可以做到与已用的数据库体系兼容。

11. 运动计时

在马拉松比赛中,由于参赛人员太多,有时第一个出发的人同最后一个出发的人能相隔 40min。如果没有一个精确的计时装置,就会出现差错。射频卡应用于马拉松比赛中,运动员在自己的鞋带上很方便地系上射频卡,在比赛的起跑线和终点线处放置带有微型天线的小垫片。当运动员越过此垫片时,计时系统便会接收运动员所带的射频卡发出的 ID 号,并记录当时的时间。这样,每个运动员都会有自己的起始时间和结束时间,不会出现不公平竞争的可能性。在比赛路线中,如果每隔 5km 就设置这样一个垫片,还可以很方便地记录运动员在每个阶段所用的时间。

随着 RFID 技术的不断发展,其应用的领域必然还会不断地迅速扩大,由于该技术实现了人们对各类物体或设备(人员、物品)信息在不同状态(移动、静止或恶劣环境)下的自动识别和管理,迎合了社会信息化的发展,因此有理由相信 RFID 信息资源的组织、管理和利用必将更为深入和广泛,最终将在全球形成一个巨大的产业。

2.2 RFID 的特性

RFID 是一项易于操控、简单实用且特别适合用于自动化控制的灵活的应用技术,识别工作无须人工干预,它既可支持只读工作模式也可支持读写工作模式,且无须接触或瞄准;可自由工作在各种恶劣环境下:短距离射频产品不怕油渍、灰尘污染等恶劣的环境,可以替

代条码，例如用在工厂的流水线上跟踪物体；长距射频产品多用于交通上，识别距离可达几十米，如自动收费或识别车辆身份等。其所具备的独特优越性是其他识别技术无法比拟的，与传统识别方式相比，RFID 技术操作方便快捷，体现出鲜明的特点和优势，归纳起来主要有以下方面。

(1) 快速扫描：条码扫描器一次只能扫描一个条码，而 RFID 阅读器则可同时辨识读取数个 RFID 标签，而且 RFID 每次读取单个标签的时间比起条形码大大缩短，因此读取效率要高得多。

(2) 体积小型化、形状多样化：RFID 在读取上并不受尺寸大小与形状限制，不需为读取精确度而配合纸张的固定尺寸和印刷品质。此外，RFID 标签更可往小型化与多样形态发展，从而应用于各类产品。

(3) 抗污染能力和耐久性：传统条码的载体是纸张，因此容易受到污染，但 RFID 标签具有很强的抗水、油和化学药品等物质的性能。此外，由于条码是附于塑料袋或外包装纸箱上，特别容易受到折损，而 RFID 卷标是将数据存在芯片中，因此可以免受污损。纸张易被玷污，而 RFID 即使在黑暗或脏污的环境之中，也可以读取数据。

(4) 可重复使用：现今的条码印刷上去之后就无法更改，由于 RFID 为电子数据，可以反复覆写，因此可以回收标签重复使用。如被动式 RFID，不需要电池就可以使用，没有维护保养的需要。

(5) 穿透性和无屏障阅读：在被覆盖的情况下，RFID 能穿透纸张、木材和塑料等非金属或非透明的材质，并能进行穿透性通信。条码扫描器必须在近距离而且没有物体阻挡的情况下，才可辨读条码。如果是铁质金属的话，就无法进行通信。

(6) 数据存储量大：一维条码的容量是 50B，二维条码最大的容量可储存 2～3000B，RFID 的最大容量则有数 MB。电子标签可以使物品携带更多的信息，且比较大的存储量也使得全世界的每一个标签都拥有一个与众不同的 ID。随着记忆载体的发展，数据容量也有不断扩大的趋势。未来物品所需携带的资料量会越来越大，对卷标所能扩充容量的需求也相应增加。

(7) 安全性：RFID 承载的是电子式信息，其数据可用密码保护，使其内容不易被伪造及变造。近年来，RFID 因其所具备的远距离读取、高储存量等特性而备受瞩目。它可以帮助企业大幅提高货物、信息管理的效率；可以让销售企业和制造企业互联，从而更加准确地接收反馈信息，控制需求信息，优化整个供应链。

(8) 远距离不接触识别：传统的条形码必须要对准才可以读取，而电子标签只要置于阅读器产生的电磁场内就可以进行读取，这就大大节省了人力，更加适合与各种自动化的处理设备配合使用。

综上所述，RFID 技术有着传统识别技术无法比拟的优势，但是，任何事物都是有两面性。RFID 技术也有其固有弱点，例如生产成本较高、标签被利器划伤后信号可能会丢失等。此外由于在非接触的条件下，可以对电子标签中的数据进行读取，这引发了人们对 RFID 技术侵犯个人隐私的争议。尽管如此，我们还是相信电子标签的价格将随着技术的发展及生产规模的扩大而得以解决，隐私问题则需要各个国家通过立法对用户的隐私权加以保护来逐步解决。

2.3 RFID的工作原理

无线射频身份识别系统(radio frequency identification system,RFID)又称为电子标签、远距离射频卡、远距离IC卡、射频标签、应答器、数据载体;RFID读写器又称为电子标签读写器、远距离读卡器、读出装置、扫描器、通信器、读写器(取决于电子标签RFID是否可以无线改写数据)。电子标签与读写器之间通过耦合元件实现射频信号的空间(无接触)耦合,在耦合通道内,根据时序关系,实现能量的传递、数据的交换。

2.3.1 RFID基本工作原理概述

由阅读器通过发射天线发送特定频率的射频信号,当电子标签进入有效工作区域时产生感应电流,从而获得能量,电子标签被激活,将自身编码信息通过内置射频天线发送出去;阅读器的接收天线接收到从标签发送来的调制信号,经天线调节器传送到阅读器信号处理模块,经解调和解码后将有效信息送至后台主机系统进行相关的处理;主机系统根据逻辑运算识别该标签的身份,针对不同的设定作出相应的处理和控制,最终发出指令信号控制阅读器完成相应的读写操作。

典型的RFID系统包括可编程数据的电子标签、读写器以及处理数据的远端计算机3个部分。电子标签也就是射频卡,具有智能读写及加密通信的能力。读写器由无线收发模块、控制模块和接口电路组成,通过调制的RF通道向标签发出请求信号,标签回答识别信息,然后读写器把信号送到计算机或者其他数据处理设备。

在实际应用中,电子标签附着在待识别物体的表面,其中保存有约定格式的电子数据。射频读写器发出电磁波,在周围形成电磁场,电子标签进入磁场后,从电磁场中获得能量,激活标签中的微芯片电路,然后芯片转换电磁波,发送出存储在芯片中的产品信息(无源标签),或者主动发送某一频率的信号(有源标签),阅读器读取信息并解码后,送至中央信息系统进行有关数据处理。射频识别系统的结构见图2-3-1。

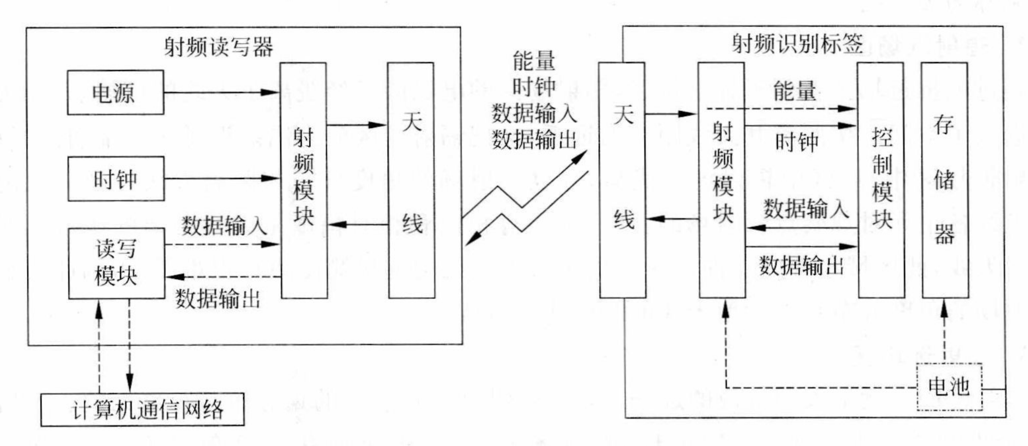


图2-3-1 射频识别系统构成图

从电子标签到阅读器之间的通信及能量感应方式来看,系统一般可以分为两类:电感耦合(inductive coupling)系统和电磁反向散射耦合(backscatter coupling)系统。

电感耦合通过空间高频交变磁场实现耦合，依据的是电磁感应定律。该方式一般适合于中、低频工作的近距离 RFID 系统，典型工作频率为 125kHz、225kHz 和 13.56MHz。识别作用距离一般小于 1m，典型作用距离为 0～20cm。

电磁反向散射耦合基于雷达模型，发射出去的电磁波碰到目标后反射，同时携带目标信息，依据的是电磁波的空间传播规律。该方式一般适用于高频、微波工作的远距离 RFID 系统，典型的工作频率为 433MHz、915MHz、245GHz 和 5.8GHz。识别作用距离大于 1m，典型作用距离为 4～6m。

2.3.2 相关的电磁场基本理论

了解电磁传播规律，有助于更好地了解和应用射频识别系统。

读写器和电子标签通过各自的天线构建两者之间的非接触信息传播信道。空间信息传播信道的性能完全由天线周围的场区特性决定，这是电磁传播的基本规律。射频信息加载到天线上以后，在紧邻天线的空间中，除了辐射场以外，还有一个非辐射场。该场与距离的高次幂成反比，随着离开天线的距离迅速减小。在这个区域，由于电抗场占优势，因此该区域称为电抗近场区，它的边界约为 1 个波长。超过电抗近场区，就是辐射场区。按照离开天线距离的远近，又把辐射场区分为辐射近场区和辐射远场区。根据观测点距离天线的距离的不同，天线周围辐射的场呈现出来的性质也不相同。通常可以根据观测点距离天线的距离将天线周围的场划分为 3 个区域：无功近场区、辐射近场区和辐射远场区。

1. 无功近场区

无功近场区也称为电抗近场区，它是天线辐射场中紧邻天线口径的一个近场区域。在该区域中，电抗性储能场占支配地位。通常，该区域的界限取为距天线口径表面 $\lambda/2\pi$ 处。从物理概念上讲，无功近场区是一个储能场，其中的电场与磁场的转换类似于变压器中的电场、磁场之间的转换。如果在其附近还有其他金属物体，这些物体会以类似电容、电感耦合的方式影响能场。在该区域中束缚于天线的电磁场没有做功（只是进行相互转换），因而将该区域称为无功近场区。

2. 辐射近场区

超过电抗近场区就到了辐射场区，辐射场区的电磁能已经脱离了天线的束缚，并作为电磁波进入了空间。按照离开天线距离的远近，又把辐射场区分为辐射近场区和辐射远场区。在辐射近场区中，场区中辐射场占优势，并且辐射场的角度分布与距离天线口径的距离有关。天线各单元对观察点辐射场的贡献，其相对相位和相对幅度是天线距离的函数。对于通常的天线，此区域也称为菲涅尔区。由于大型天线的远场测试距离很难满足，因此研究该区域中场的角度分布对于大型天线的测试非常重要。

3. 辐射远场区

辐射远场区就是人们常说的远场区，在该区域中，辐射场的角分布与距离无关。严格地讲，只有距离天线无穷远处才到达天线的远场区。但在某个距离上，辐射场的角度分布与无穷远时的角度分布误差在允许的范围以内时，即把该点至无穷远的区域称为无线远场区。

天线的方向图即指该辐射区域中辐射场的角度分布，因此远场区是天线辐射场区中最重要的一个。公认的辐射近场区与远场区的分界距离 R 为

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} \tag{2-3-1}$$

其中，D 为天线直径，λ 为天线波长，$D \geqslant \lambda$。

满足天线的最大尺寸 L 小于波长 λ 时，天线周围只存在无功近场区与辐射远场区，没有辐射近场区。无功近场区的外界约为 $\lambda/2\pi$，超过了这个距离，辐射场就占主要地位。满足 $L/\lambda \ll 1$ 的天线一般称为小天线。

对射频识别系统和电子标签，一般情况下，由于电子标签尺寸的限制，以及读写器天线应用时的尺寸限制，绝大多数情况下，采用 $L/\lambda \ll 1$ 的天线结构模式。天线的无功近场区和远场区的距离可以根据波长进行估算。

有关天线场区的划分，一方面表示了天线周围场的分布特点，即辐射场中的能量以电磁波的形式向外传播，无功近场中的能量以电场、磁场的形式相互转换不向外传播；另一方面表示了天线周围场强的分布情况，距离天线越近，场强越强。

2.3.3 电感耦合 RFID 系统

电感耦合工作方式对应于 ISO/IEC14443 协议。电感耦合电子标签由一个电子数据作为载体，通常由单个微芯片及天线（大面积线圈）等组成，如图 2-3-2 所示。

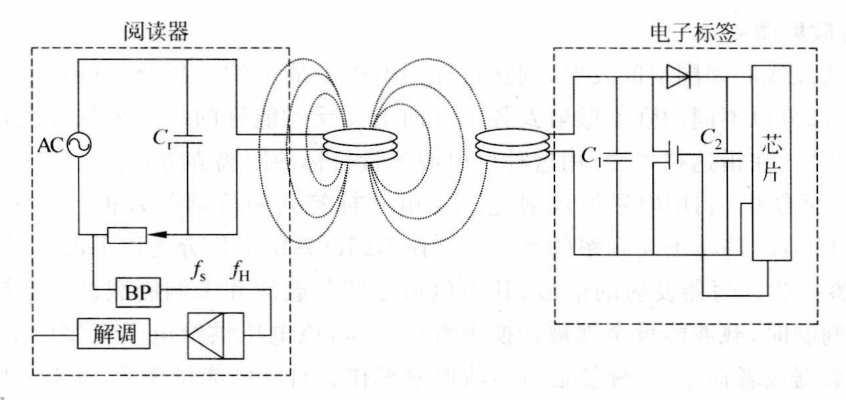


图 2-3-2　电感耦合型 RFID 系统

在标签中的微芯片工作所需的全部能量由阅读器发送的感应电磁能　　　高频的强电磁场由阅读器的天线线圈产生，并穿越线圈横截面和周围空间，以使附近的电子标签产生电磁感应。

1. 能量供应

阅读器天线线圈激发磁场，其中一小部分磁力线穿过电子标签天线线圈，通过感应，在电子标签的天线线圈上产生电压 U，将其整流后作为微芯片的工作电源。

电容器 C_r 与阅读器的天线线圈并联，电容器与天线线圈的电感一起，形成谐振频率与阅读器发射频率相符的并联震荡回路，该回路的谐振使得阅读器的天线线圈产生较大的电流。

电子标签的天线线圈和电容器 C_1 构成震荡回路，调谐到阅读器的发射频率。通过该回路的谐振，电子标签线圈上的电压 U 达到最大值。这两个线圈的结构可以解释为变压器（变压器的耦合）。

2. 数据传输

根据电子标签和阅读器天线之间的作用距离划分为近场和远场，当电子标签处于近场范围内，电子标签与阅读器的数据传输为负载调制（电感耦合、变压器耦合）。

如果把谐振的电子标签放入阅读器天线的交变磁场，那么电子标签就可以从磁场获得能量。采用从供应阅读器天线的电流在阅读器内阻上的压降就可以测得这个附加的功耗。电子标签天线上负载电阻的接通与断开促使阅读器天线上的电压发生变化，实现用电子标签对天线电压进行振幅调制。而通过数据控制负载电压的接通和断开，这些数据就可以从标签传输到阅读器了。

此外，由于阅读器天线和电子标签天线之间的耦合很弱，因此阅读器天线上表示有用信号的电压波动比阅读器的输出电压小。在实践中，对 13.56MHz 的系统，天线电压（谐振时）只能得到约 10mV 的有用信号。因为检测这些小电压变化很不方便，所以可以采用天线电压振幅调制所产生的调制波边带。如果电子标签的附加负载电阻以很高的时钟频率接通或断开，那么在阅读器发送频率将产生两条谱线，此时该信号就容易检测了，这种调制也称为副载波调制。

2.3.4 电磁反向散射 RFID 系统

1. 反向散射调制

电磁波从天线向周围空间发射，到达目标的电磁波能量的一部分（自由空间衰减）被目标吸收，另一部分以不同的强度散射到各个方向上。反射能量的一部分最终会返回发射天线，称其为回波。在雷达技术中，用这种反射波测量目标的距离和方位。

在 RFID 系统中，利用电磁波反射完成从电子标签到阅读器的数据传输，主要应用于 915MHz、2.45GHz 甚至更高频率的系统中。该 RFID 系统工作分为以下两个过程：

(1) 标签接收读写器发射的信号，其中包括已调制载波和未调制载波。当标签接收的信号没有被调制时，载波能量全部被转换为直流电压，该电压供给电子标签内部芯片能量；当载波携带数据或者命令时，标签通过接收电磁波作为自己的能量来源，并对接收信号进行处理，从而接收读写器的指令或数据。

(2) 标签向读写器返回信号时，读写器只向标签发送未调制载波，载波能量一部分被标签转化成直流电压，供给标签工作；另一部分能量被标签通过改变射频前端电路的阻抗调制并反射载波来向读写器传递信息。

电子标签的等效电路图如图 2-3-3 所示，V_s 为天线接收信号，Z_a 表示天线的阻抗，Z_1 表示芯片的输入阻抗。为了达到调制背向反射载波的目的，Z_1 有两种状态，分别为 Z_{11} 和 Z_{12}。

当标签需要发送的信息为二进制数"1"时，芯片的阻抗状态为 Z_{11}；当标签需要发送的信息为二进制数"0"时，芯片的阻抗状态为 Z_{12}。这样在两种状态下标签反射回读写器的信号为

$$S_0(t) = s(t)S_1 \tag{2-3-2}$$

$$S_1(t) = s(t)S_2 \tag{2-3-3}$$

式中，$s(t)$ 为标签接收到的信号；$S_0(t)$ 为标签反射回读写器的信号；S_1 为标签的反射系数。

图 2-3-3 子标签的等效电路图

当电子标签的阻抗采取不同的变化方式时，可以形成不

同的后向散射调制方式，使得标签返回的能量和进入标签的能量具有不同的特性。有以下 4 种情况：

(1) 二进制相移键控(on-off keying，OOK)调制方式。在该方式下，阻抗状态为 1 时，完全反射；阻抗状态为 2 时完全匹配，而且这两种阻抗状态下标签的反射系数的相位相同：

$$|S_1| = 1, \quad |S_2| = 0 \tag{2-3-4}$$

$$\arg(S_1) = \arg(S_2) \tag{2-3-5}$$

(2) 二进制相移键控(binary phase shift keying，BPSK)调制方式。在该方式下，这两种阻抗状态有相同程度的失配，但是这两种阻抗状态的下标签的反射系数的相位相反：

$$0 < |S_1| = |S_2| < 1 \tag{2-3-6}$$

$$\arg(S_1) = \arg(S_2) \tag{2-3-7}$$

(3) 任意调制因子的振幅键控(amplitude shift keying，ASK)调制方式。在该方式下，这两种阻抗状态有着不同程度的失配，但是这两种阻抗状态的下标签的反射系数的相位相同：

$$0 < |S_1| < |S_2| < 1 \tag{2-3-8}$$

$$\arg(S_1) = \arg(S_2) \tag{2-3-9}$$

这种阻抗变化的方式可以使标签反射的信号形成任意调制因子的 ASK 调制方式。

(4) 阶跃反振幅键控(phase reverse amplitude shift keying，PR-ASK)调制方式。该方式下，这两种阻抗状态有不同程度的失配，而且这两种阻抗状态的下标签的反射系数的相位相同：

$$0 < |S_1| < |S_2| < 1 \tag{2-3-10}$$

$$\arg(S_1) = \arg(S_2) \tag{2-3-11}$$

这种阻抗变化的方式可以使标签反射的信号形成相位相反的幅度键控调制方式。

2. 反向散射调制的能量传输

电磁波从天线向周围空间发射会遇到不同的目标。到达目标的电磁波能量一部分被目标吸收，另一部分以不同的强度散射到各个方向上。反射能量的一部分最终返回发射天线。下面介绍该方式调制的能量传输。

(1) 阅读器到标签的能量传输

在距阅读器距离为 R 的电子标签处的功率密度为

$$S = \frac{P_{\mathrm{TX}} G_{\mathrm{TX}}}{4\pi R^2} = \frac{P_{\mathrm{EIR}}}{4\pi R^2} \tag{2-3-12}$$

式中，P_{TX} 为读写器的发射功率；G_{TX} 为发射天线的增益；R 是标签到读写器天线之间的距离；P_{EIR} 为天线的有效辐射功率，是指读写器发射功率和天线增益的乘积。

在电子标签和发射天线都处于最佳姿态，并且极化方向相匹配时，电子标签可以吸收的最大功率 P_{Tag} 与阅读器发射信号的功率密度 S 成正比：

$$P_{\mathrm{Tag}} = A_{\mathrm{e}} S = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{\mathrm{Tag}} S = P_{\mathrm{EIR}} G_{\mathrm{Tag}} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \tag{2-3-13}$$

式中，G_{Tag} 为电子标签的天线增益；A_{e} 为电子标签的有效面积：$A_{\mathrm{e}} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$。

无源 RFID 系统的电子标签通过电磁场供电，标签功耗很大，读写距离越短，性能就越差。

RFID电子标签能否工作也主要由电子标签的工作电压所决定，这也决定了无源RFID系统的识别距离。但随着集成电路工艺的发展，射频电子标签芯片本身的功耗逐渐降低。目前，典型的低功耗电子标签的工作电压为1.2V左右，标签本身的功耗可以低至数微瓦到数十微瓦。这使得无源电子标签的识别距离在无线电发射功率受到限制的情况下可以达到10m以上。

(2) 电子标签到阅读器的能量传输

电子标签返回的能量与它的雷达散射截面面积成正比，它是目标反射电磁波能力的测度。散射面积取决于一系列的参数，既包含物体本身的特性，如目标的大小、形状、材料和表面结构，也包括反射电磁波的特性，如电磁波的波长和极化方向等。

电子标签在空间某个位置接收到阅读器发射的电磁波，一部分吸收用于提供自身工作的能量，另一部分被反射回去，电子标签反射电磁波的能量为

$$P_{\mathrm{Back}} = S\sigma = \frac{P_{\mathrm{TX}}G_{\mathrm{TX}}}{4\pi R^2}\sigma = \frac{P_{\mathrm{EIR}}}{4\pi R^2}\sigma \tag{2-3-14}$$

返回阅读器的功率密度为

$$S_{\mathrm{Back}} = \frac{P_{\mathrm{TX}}G_{\mathrm{TX}}\sigma}{(4\pi)^2 R^4} \tag{2-3-15}$$

接收天线的有效面积为

$$A_{\mathrm{W}} = \frac{\lambda^2 G_{\mathrm{RX}}}{4\pi} \tag{2-3-16}$$

式中，G_{RX}为天线的增益。可以得出，阅读器接收的标签反射信号的总功率为

$$P_{\mathrm{RX}} = S_{\mathrm{Back}}A_{\mathrm{W}} = \frac{P_{\mathrm{TX}}G_{\mathrm{TX}}G_{\mathrm{RX}}\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3 R^4} \tag{2-3-17}$$

2.3.5 声表面波标签的识别原理

1. 声表面波 RFID 原理

声表面波(surface acoustic wave，SAW)是传播于晶体表面的一种机械波，其声速仅为电磁波速的十万分之一，传播衰耗很小。声表面波器件的功能部分，是采用现代微电子技术在表面抛光的压电材料基片上制作的叉指换能器、反射体和耦合栅等金属电极结构，基于(逆)压电效应，射频信号在经历电磁波—声表面波—电磁波的换能过程中得到处理，达到预定功能要求。以高频谐振器、带通滤波器为代表的现代声表面波器件，具有体积小、质量轻、可靠性高、一致性好、功能多及设计灵活等优点，已成为了先进广泛使用的电子关键元器件。

SAW标签由叉指换能器和若干反射器组成，如图2-3-4所示。

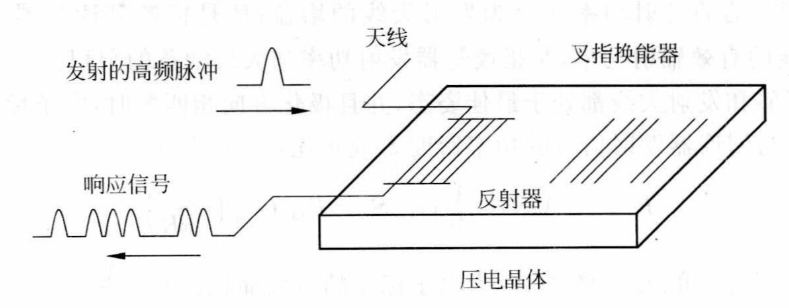


图 2-3-4 声表面波标签

换能器的两条总线与电子标签的天线相连接，阅读器的天线周期地发送高频询问脉冲，在电子标签天线的接收范围之内，被接收到的高频脉冲通过叉指换能器转变成声表面波，并在晶体表面传播。反射器组对入射表面波部分反射，并返回到叉指换能器，叉指换能器又将反射声表面波脉冲串转变为高频电脉冲串。如果将反射器组按某种特定的规律设计，使其反射信号表示规定的编码信息，那么阅读器接收到的反射高频电脉冲串就带有该物品的特定编码，通过解调与处理，即可达到自动识别的目的。

2. 声表面波 RFID 系统的应用领域及优点

由于声表面波 SAW 器件工作在射频波段，无源而且抗电磁干扰能力较强，因此 SAW 技术实现的电子标签具有一定的独特优势，是对集成电路(IC)技术的补充。

SAW 标签应用领域非常广泛，包括物流管理、路桥收费、公共交通、门禁控制、防伪、超市防盗、航空行李分拣、邮包跟踪、流水线控制与跟踪、体育竞赛等。同时也适用于压力、应力、扭曲、加速度和温度等变化参数的测量，如铁路红外轴温探测系统的热轴定位、轨道衡、超偏载检测系统、汽车轮胎压力等，其主要优点如下：

(1) 读取范围大且可靠，识别距离远。

(2) 可使用在金属和液体产品上。

(3) 标签芯片与天线匹配简单，制作工艺成本低。

(4) 不仅能识别静止物体，而且能识别速度达 300km/h 的高速运动物体。

(5) 可在高温差(−100～300℃)、强电磁干扰等恶劣环境下使用。

3. 声表面波 RFID 系统的关键技术

(1) 标签编码容量与作用距离

增加反射体数目和改进编码方法，是提高 SAW 标签编码容量的主要措施。增加反射体数目会增加芯片长度，并受声表面波传输损耗和成本限制。即使采用声道折叠、并列声道和转向结构等来减小芯片长度，但为保持反射回波脉冲均匀，每个反射体的反射能力应降低，则必然导致回波强度减小，作用距离减小。

(2) 读写器

读写器属于通用简易脉冲雷达系统，RFID 系统的性能与读写器的性能息息相关，技术实现难度取决于比特率、标签性能和编码调制方法。声表面波标签回波的主要特征是反射回波幅度小、涨幅有涨落，但其时间特征可以预知。因此，读写器应有同步时钟、等时间闸等适应声表面波标签特征的电路，以提高声表面波标签的性能。

(3) 小型低成本且适合待识别物品的电子标签天线

为增加识别距离和提高识别可靠性，应尽量加大天线尺寸，但在一些应用中，却希望标签尺寸越小越好。因此，小型且低成本适合待识别物品的电子标签天线是应用的关键。

(4) 封装

标签附着物品和使用环境千差万别，所以其封装结构各有特色。但是必须达到如下几个要求：

① 保证压片芯片在工作寿命期间能耐外部环境应力及变化，不造成性能劣化；

② 至少不影响或较少影响标签天线的高频电磁波接收效果；

③ 固定于待识别物的方法简单、附着牢靠，对物品无损伤；

④ 外形美观，与待识别物和谐，满足安全和环保等要求。

2.4 RFID的技术分类

现实中，人们看到的是RFID产品，用到的却是RFID技术提供给RFID产品的功能。RFID产品是RFID技术有形的外表，RFID技术是RFID产品无形的内里。RFID产品承载着RFID技术，RFID技术的不断发展，促进RFID产品的不断更新。RFID产品的分类与RFID技术的分类密切相关。因此，首先以RFID系统的概念为依托，着重讨论RFID技术的分类。

RFID系统包括电子标签和读写器两个基本组成部分。虽然电子标签个体在通常的意义上价格比读写器个体要低许多，但是由于电子标签是物品标识信息的载体，跟随着标识的物品走遍天下，散布在物品驻留的各个角落之中，而读写器则主要分布在电子标签信息的采集点上。因而，人们见得更多的是电子标签，数量最多的也是电子标签，标志物品最为直接的RFID系统的组成单元也是电子标签，并且在大千世界中，由于各种具体应用及需求不同，存在着大量不同类型且互不兼容的电子标签。即便是在相互兼容的电子标签集合中，也会因为应用的需求不同，产品开发的厂家不同，设计人员的灵感不同，生产制作的工艺不同，造成最终应用的产品多种多样。

由于电子标签的数量大，个体相对小，价格相对低，因而在RFID系统设计的时候，通常为了达到RFID系统的综合目标，最优先考虑的是如何设计简单而有效能的电子标签，而将完成RFID系统相对复杂一些的适应性方面的问题留给了读写器来完成。由此决定了在RFID系统中，电子标签是技术的主导方。在更多的情况下，是设计读写器以适应一种或多种电子标签的读写需要。

在上述内在原因的驱使下，也有研究直接将电子标签技术等同于RFID技术，将电子标签技术的分类等同于RFID技术的分类。在后面的讨论中，为了讨论方便起见，将直接以电子标签技术的讨论来指代对RFID技术的讨论，对于电子标签技术的分类来指代对RFID技术的分类。

对于RFID技术，可依据标签的供电形式、工作频率、可读性和工作方式进行分类。

2.4.1 根据标签的供电形式分类

在实际应用中，必须给电子标签供电它才能工作，虽然它的电能消耗是非常低的(一般是1/100mW级别)。按照标签获取电能的方式不同，常把标签分成有源式标签、无源式标签及半有源式标签。

1. 有源式电子标签

有源式电子标签通过标签自带的内部电池进行供电，它的电能充足，工作可靠性高，信号传送的距离远。另外，有源式标签可以通过设计电池的不同寿命对标签的使用时间或使用次数进行限制，它可以用在需要限制数据传输量或者使用数据有限制的地方。有源式标签的缺点主要是价格高，体积大，标签的使用寿命受到限制，而且随着标签内电池电力的消耗，数据传输的距离会越来越小，影响系统的正常工作。

2. 无源式电子标签

无源式电子标签的内部不带电池，需靠外界提供能量才能正常工作。无源式电子标签

典型的产生电能的装置是天线与线圈，当标签进入系统的工作区域，天线接收到特定的电磁波，线圈就会产生感应电流，再经过整流并给电容充电，电容电压经过稳压后可作为工作电压。无源式电子标签具有永久的使用期，常常用在标签信息需要每天读写或频繁读写的场合，而且无源式电子标签支持长时间的数据传输和永久性的数据存储。无源式电子标签的缺点主要是数据传输的距离要比有源式电子标签短。因为无源式电子标签依靠外部的电磁感应供电，电能比较弱，数据传输的距离和信号强度就受到限制，所以需要敏感性比较高的信号接收器才能可靠识读。但它的价格、体积、易用性决定了它是电子标签的主流。

3. 半有源式电子标签

半有源式电子标签内的电池仅对标签内要求供电维持数据的电路供电或者为标签芯片工作所需的电压提供辅助支持，为本身耗电很少的标签电路供电。标签未进入工作状态前，一直处于休眠状态，相当于无源式电子标签，标签内部电池能量消耗很少，因而电池可维持几年，甚至长达10年有效。当标签进入读写器的读取区域，受到读写器发出的射频信号激励而进入工作状态时，标签与读写器之间信息交换的能量支持以读写器供应的射频能量为主（反射调制方式），标签内部电池的作用主要在于弥补标签所处位置的射频场强不足，标签内部电池的能量并不转换为射频能量。

2.4.2 根据标签的工作频率分类

从应用概念来说，电子标签的工作频率也就是射频识别系统的工作频率，是其最重要的特点之一。电子标签的工作频率不仅决定射频识别系统的工作原理（电感耦合还是电磁耦合）、识别距离，还决定电子标签及读写器实现的难易程度和设备成本。工作在不同频段或频点上的电子标签具有不同的特点。射频识别应用占据的频段或频点在国际上有公认的划分，即位于ISM波段。典型的工作频率有125kHz、133kHz、13.56MHz、27.12MHz、433MHz、902～928MHz、2.45GHz、5.8GHz等。

1. 低频段电子标签

低频段电子标签，简称为低频标签，其工作频率范围为30～300kHz。典型工作频率有125kHz、133kHz（也有接近的其他频率的，如TI公司使用134.2kHz）。低频标签一般为无源式电子标签，其工作能量通过电感耦合方式从读写器耦合线圈的辐射近场中获得。低频标签与读写器之间传送数据时，低频标签需位于读写器天线辐射的近场区内。低频标签的阅读距离一般情况下小于1m。

低频标签的典型应用有动物识别、容器识别、工具识别、电子闭锁防盗（带有内置应答器的汽车钥匙）等。与低频标签相关的国际标准有ISO 11784/11785（用于动物识别）、ISO 18000-2（125～135kHz）。低频标签有多种外观形式，应用于动物识别的低频标签外观有项圈式、耳牌式、注射式、药丸式等。

低频标签的主要优势体现在标签芯片一般采用普通的CMOS工艺，具有省电、廉价的特点，工作频率不受无线电频率管制约束，可以穿透水、有机组织、木材等。非常适合近距离、低速度、数据量要求较少的识别应用等。低频标签的劣势主要体现在标签存储数据量较少，只适用于低速、近距离的识别应用。

2. 中高频段电子标签

中高频段电子标签的工作频率一般为3～30MHz。典型工作频率为13.56MHz。该频

段的电子标签，一方面从射频识别应用角度来看，因其工作原理与低频标签完全相同，即采用电感耦合方式工作，所以宜将其归为低频标签类中；另一方面，根据无线电频率的一般划分，其工作频段又称为高频，所以也常常将其称为高频标签。

高频电子标签一般也采用无源方式，其工作能量同低频标签一样，也是通过电感（磁）耦合方式从读写器耦合线圈的辐射近场中获得。标签与读写器进行数据交换时，标签必须位于读写器天线辐射的近场区内。中频标签的阅读距离一般情况下也小于 1m（最大读取距离为 1.5m）。

高频标签由于可方便地做成卡片，典型应用包括电子车票、电子身份证、电子闭锁防盗（电子遥控门锁控制器）等。相关的国际标准有 ISO 14443、ISO 15693、ISO 18000-3（13.56MHz）等。

高频标准的基本特点与低频标准相似，由于其工作频率的提高，可以选用较高的数据传输速率。电子标签天线设计相对简单，标签一般制成标准卡片形状。

3. 超高频与微波标签

超高频与微波频段的电子标签，简称为微波电子标签，其典型工作频率为 433.92MHz、862(902)～928MHz、2.45GHz、5.8GHz。微波电子标签可分为有源式电子标签与无源式电子标签两类。工作时，电子标签位于读写器天线辐射场的远区场内，标签与读写器之间的耦合方式为电磁耦合方式。读写器天线辐射场为无源式电子标签提供射频能量，将有源式电子标签唤醒。相应的射频识别系统阅读距离一般大于 1m，典型情况为 4～7m，最大可达 10m 以上。读写器天线一般均为定向天线，只有在读写器天线定向波束范围内的电子标签才可被读写。

由于阅读距离的增加，应用中有可能在阅读区域中同时出现多个电子标签的情况，从而提出了多标签同时读取的需求，进而这种需求发展成为一种潮流。目前，先进的射频识别系统均将多标签识读问题作为系统的一个重要特征。

以目前技术水平来说，无源微波电子标签比较成功的产品相对集中在 902～928MHz 工作频段上。2.45GHz 和 5.8GHz 射频识别系统多以半有源微波电子标签产品面世。半有源式电子标签一般采用纽扣电池供电，具有较远的阅读距离。

微波电子标签的典型特点主要集中在是否无源，无线读写距离，是否支持多标签读写，是否适合高速识别应用，读写器的发射功率容限，电子标签及读写器的价格等方面。对于可无线写的电子标签而言，通常情况下，写入距离要小于识读距离，其原因在于写入要求更大的能量。

微波电子标签的数据存储容量一般限定在 2Kb 以内，再大的存储容量似乎没有太大的意义。从技术及应用的角度来说，微波电子标签并不适合作为大量数据的载体，其主要功能在于标识物品并完成无接触的识别过程。典型的数据容量指标有 1Kb、128b、64b 等。

微波电子标签的典型应用包括移动车辆识别、电子身份证、仓储物流应用、电子闭锁防盗（电子遥控门锁控制器）等。相关的国际标准有 ISO 10374、ISO 18000-4（2.45GHz）、ISO-5（5.8GHz）、ISO-6（860～930MHz）、ISO-7（433.92MHz）和 ANSI NCITS 256-1999 等。

2.4.3 根据标签的可读性分类

根据使用的存储器类型，可以将标签分成只读（read only，RO）标签、可读写（read and

write,RW)标签和一次写入多次读出(write once read many,WORM)标签。

1. 只读标签

只读标签内部只有只读存储器(read only memory,ROM)。ROM中存储有标签的标识信息。这些信息可以在标签制造过程中,由制造商写入ROM中,电子标签在出厂时,即已将完整的标签信息写入标签。这种情况下,应用过程中,电子标签一般具有只读功能。也可以在标签开始使用时由使用者根据特定的应用目的写入特殊的编码信息。

只读标签信息的写入,在更多的情况下是在电子标签芯片的生产过程中将标签信息写入芯片,使得每一个电子标签拥有一个唯一的标识UID(如96b)。应用中,需再建立标签唯一UID与待识别物品的标识信息之间的对应关系(如车牌号)。只读标签信息的写入也有在应用之前,由专用的初始化设备将完整的标签信息写入。

只读标签一般容量较小,可以用做标识标签。对于标识标签来说,一个数字或者多个数字字母字符串存储在标签中,这个储存内容是进入信息管理系统中数据库的钥匙(key)。标识标签中存储的只是标识号码,用于对特定的标识项目,如人、物、地点进行标识,关于被标识项目的详细、特定的信息,只能在与系统相连接的数据库中查找。

一般电子标签的ROM区存放有厂商代码和无重复的序列码,每个厂商的代码是固定和不同的,每个厂商的每个产品的序列码也肯定是不同的。所以每个电子标签都有唯一码,这个唯一码又是存放在ROM中,所以标签就没有可仿制性,是防伪的基础点。

2. 可读写标签

可读写标签内部的存储器,除了ROM、缓冲存储器之外,还有非活动可编程记忆存储器。这种存储器一般是EEPROM(电可擦除可编程只读存储器),它除了存储数据功能外,还具有在适当的条件下允许多次对原有数据的擦除以及重新写入数据的功能。可读写标签还可能有随机存取器(random access memory,RAM),用于存储标签反应和数据传输过程中临时产生的数据。

可读写标签一般存储的数据比较大,这种标签一般都是用户可编程的,标签中除了存储标识码外,还存储有大量的被标识项目其他的相关信息,如生产信息、防伪校验码等。在实际应用中,关于被标识项目的所有信息都是存储在标签中的,读标签就可以得到关于被标识目标的大部分信息,而不必连接到数据库进行信息读取。另外在读标签的过程中,可以根据特定的应用目的控制数据的读出,实现在不同情况下读出的数据部分不同功能。

3. 一次写入多次读出标签

应用中,还广泛存在着一次写入多次读出(WORM)的电子标签。这种WORM概念既有接触式改写的电子标签,也有无接触式改写的电子标签。这类WORM标签一般大量用在一次性使用的场合,如航空行李标签、特殊身份证件标签等。

RW卡一般比WORM卡和RO卡价格高得多,如电话卡、信用卡等。WORM卡是用户可以一次性写入的卡,写入后数据不能改变,比RW卡要便宜。RO卡存有一个唯一的ID号码,不能修改,具有较高的安全性。

2.4.4 根据标签的工作方式分类

根据标签的工作方式,可将RFID分为被动式、主动式和半主动式。一般无源系统为被动式,有源系统为主动式。

1. 主动式电子标签

一般主动式 RFID 系统为有源系统，即主动式电子标签用自身的射频能量主动地发送数据给读写器，在有障碍物的情况下，只需穿透障碍物一次。由于主动式电子标签自带电池供电，它的电能充足，工作可靠性高，信号传输距离远。主要缺点是标签的使用寿命受到限制，而且随着标签内部电池能量的耗尽，数据传输距离越来越短，从而影响系统的正常工作。

2. 被动式电子标签

被动式电子标签因内部没有电源设备，又称为无源标签。被动式电子标签内部的集成电路通过接收由阅读器发出的电磁波驱动，向阅读器发送数据。被动式电子标签的通信频率可以是高频(HF)或超高频(UHF)。第一代被动式电子标签采用高频通信，其通信频段是 13.56MHz。通信距离较短，最长只能到达 1m 左右，主要用于访问控制和非接触式付款。第二代被动式标签采用超高频通信，其通信频段为 860～960MHz。通信距离较长，可达 3～5m，并且支持多标签识别，即阅读器可同时准确识别多个标签。迄今为止，第二代被动式电子标签也是使用最为广泛的 RFID 标签，主要用于工业自动化、资产管理、货物监控、个人标识和访问控制等领域。表 2-4-1 详细地比较了这两代被动式电子标签。

表 2-4-1 被动式电子标签相关标准

相关标准	超高频	高频
协议	EPC Gen2(ISO 18000-6C)	ISO15693、ISO14443
频率/MHz	860～960(区域依赖)	13.56(全球统一)
通信距离/m	3～5	1 0.1
阅读器价格/美元	500～2000	100～1000
标签价格/美元	0.1～0.2	0.2～0.5
存储大小	96～1000b	256b～8KB
应用	供应链、自动化生产、资产管理和项目跟踪	访问控制，安全付款，验证

3. 半主动式电子标签

半主动式标签兼有被动式标签和主动式标签的所有优点，内部携带电池，能够为标签内部计算提供电源。这种标签可以携带传感器，可以用于检测环境参数，如温度、湿度、移动性等。和主动式标签不同的是，它们的通信并不需要电池提供能量，而是像被动式电子标签一样，通过阅读器发射的电磁波获取通信能量。

在半主动式 RFID 系统里，电子标签本身带有电池，但是标签并不通过自身能量主动发送数据给读写器，电池只负责对标签内部电路供电。标签需要被读写器的能量激活，然后才通过反向散射调制方式传送自身数据。

2.4.5 根据标签的工作距离分类

根据标签的工作距离，可将 RFID 分为远程标签、近程标签和超近程标签 3 种类型。

(1) 远程标签，工作距离在 100cm 以上。

(2) 近程标签，工作距离在 10～100cm。

(3) 超近程标签，工作距离在 0.2～10cm。

2.5 本章小结

本章系统地介绍了 RFID 射频识别技术的发展状况、工作原理、分类方式以及应用，RFID 作为通感知层的主要感知识别技术，通过对它的学习和理解为物联网的应用打下了坚实的基础。

RFID 标签作为未来物联网感知层的主要载体，它易于操控、制作简单，并且随着技术的发展，RFID 的成本和布设问题将得到逐步的解决。

习题

1. 什么是 RFID?
2. RFID 技术具有哪些特点和优势?
3. RFID 系统基本组成部分有哪些? 简述每个部分的功能。
4. 从电子标签到阅读器之间的通信及能量感应方式来看，RFID 系统一般可以分为哪几类? 简述各类的实现过程。
5. 根据观测点距离天线的距离，可将天线周围的场划分为哪些区域?
6. 试述声表面波 RFID 系统的应用领域及优点。
7. 依据标签的供电形式，可分为哪些类型的标签? 根据工作频率、可读性和工作方式，标签又分为哪些类别?

第3章 传感器

泛在化的感知能力是物联网的重要特征。支持物联网覆盖范围泛在化的技术就是无线网络,它作为我们感知物理世界的网络——物联网的神经末梢。无线网络是网络技术研究与发展的另外一条主线,它的研究、发展与应用对21世纪信息技术与产业发展产生重要的影响。传感器是无线网络组成的基本元件,它的性能决定着无线网络的性能,进一步决定着物联网的性能,所以对传感器的学习是非常重要的。本章在系统地介绍传感器的定义、特性、分类与特点的基础上,重点讨论传感网中的传感器、传感网络的原理、技术与应用。

3.1 传感器概述

3.1.1 传感器的定义

国家标准GB 7665—1987对传感器下的定义是:能感受规定的被测量件并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将检测感受到的信息,按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

因为电信号具有高精度、高灵敏度,可测量的控制范围宽、便于传输、放大及反馈并连续可测、可遥测、可储存等许多优点,所以一定意义上可以把传感器归纳为一种能感受外界信息(力、热、声、光、磁、气体、湿度等),并按一定的规律将其转换成易处理的电信号的装置。

3.1.2 传感器的基本特性

从传感器本身的作用可知,传感器是直接与被测对象发生联系的部分,是信号输入的窗口,可提供原始信息,检测的准确与否完全与一定范围内反应被测量的精确程度有关。于是,它必须具备一定的基本特性,了解和掌握基本特性是正确选择和使用传感器的基本条件。

传感器的基本特性是指传感器的输出与输入之间的关系,一般分为静态特性和动态特性两大类。当被测量不随时间变化或随时间变化很缓慢(静态信号)时,即反应静态特性,可以用一系列静态参数来描述当被测量随时间变化很快(动态信号时的特性)时,即反应动态特性,可以用一系列动态参数来描述。

1. 静态特性

传感器的静态特性是指传感器的输入信号不随时间变化或变化非常缓慢时,所表现出

来的输出响应特性，称静态响应特性。它的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程来表示：

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_n x^n \tag{3-1-1}$$

式中，a_0 为零位输出，a_1 为线性常数，a_2、a_3、…、a_n 为非线性待定系数，它们都可以由实际的测量数据进行标定。

实际中以输入量作横坐标，把与其对应的输出量作纵坐标而画出的特性曲线来描述。由多次测量的结果分析可知、任何传感器的输出与输入的关系不会完全符合所要求的特征线性或非线性关系，衡量传感器的静态特性必须用一些重要指标来确定，表征传感器静态特性的主要参数有：测量范围、线性度、迟滞、灵敏度、重复性等。

(1) 测量范围

每一个传感器都有一定的测量范围，如果在超过了这个范围内进行测量，会带来很大的测量误差，甚至将其损坏。一般测量范围确定在一定的线性区域或保证一定寿命的范围内。实际应用时，为保证测量的准确性和延长传感器的寿命，所选传感器的测量范围应大于实际的测量范围。

(2) 线性度

通常为了标定和数据处理的方便，总希望得到线性的关系，即采用各种方法(如硬件或软件的补偿)进行线性化处理，这样就使得输出不可能丝毫不差地反应被测量的变化，总存在一定线性或非线性的误差(见图 3-1-1)。线性度就是用来表示实际曲线与拟合直线接近程度的一个性能指标。定义为在全量程范围内实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差值与满量程输出值(Y_{FS})之比，即



$$\gamma_L = \pm(\Delta Y_{max}/Y_{FS}) \tag{3-1-2}$$

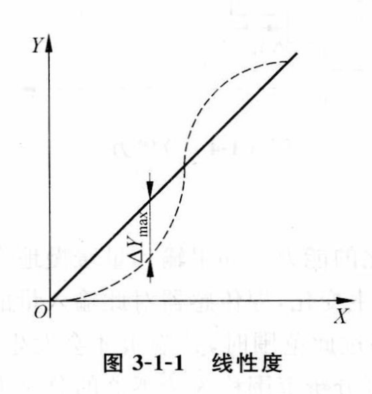


图 3-1-1 线性度

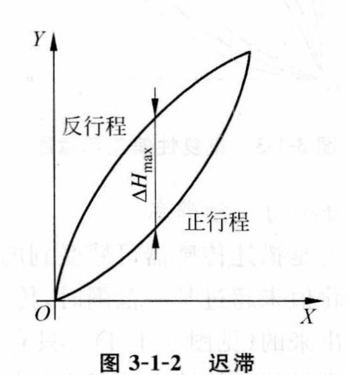


图 3-1-2 迟滞

(3) 迟滞(γ_H)

在相同的工作条件下进行全测量范围测量时，传感器在输入量由小到大(正行程)及输入量由大到小(反行程)变化期间其输出特性曲线不重合的现象成为迟滞(见图 3-1-2)。用全量程范围校准时同一输入量的正反行程中输出的最大偏差量与满量程输出值之比表示，即

$$\gamma_H = \pm(1/2)(\Delta H_{max}/Y_{FS}) \times 100\% \tag{3-1-3}$$

迟滞反映了传感器的材料参数的恢复快慢、机械结构和制造工艺的缺陷等。

(4) 灵敏度(K)

灵敏度是传感器静态特性的一个重要指标。其定义为输出量的变化(Δy)与引起该变

化的相应输入量变化(Δx)之比,即

$$K = \Delta y/\Delta x \tag{3-1-4}$$

可以看出,灵敏度的量纲是输出量与输入量的量纲之比。对于线性传感器来讲,其校准时输出/输入特性直线的斜率就是灵敏度。对于非线性传感器来讲,灵敏度随输入量的变化而变化。一般来讲,K 提高时测量容易,精度提高,但是测量的范围变窄,稳定性变差,应根据具体的情况择优选择。

(5) 重复性(γ_R)

重复性是指在同一工作条件下,输入量按同一方向作全量程连续工作多次时,所得曲线间的不一致程度(见图 3-1-3),它反映校准数据的离散程度和输入随机误差。定义为正行程和反行程中最大重复性偏差与满量程输出值之比表示,即

$$\gamma_R = \pm(\Delta R_{max}/Y_{FS}) \times 100\% \tag{3-1-5}$$

或用同一输入量 N 次测量的标准偏差与满量程输出值之比表示。标准差表示为

$$\gamma_R = \pm((2 \sim 3)\sigma/Y_{FS}) \times 100\% \tag{3-1-6}$$

其中,$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(d_i)^2}$ 为正、反行程最大的标准差;n 为测量的次数。

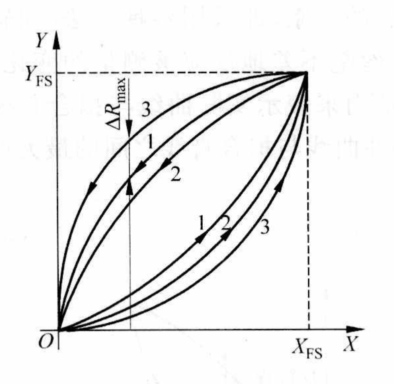


图 3-1-3 重复性偏差示意图

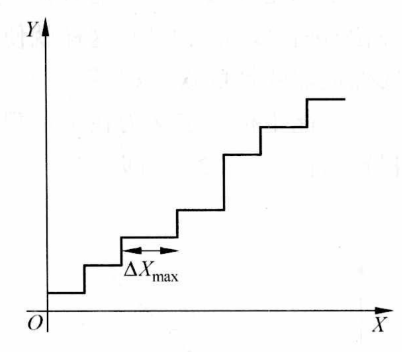


图 3-1-4 分辨力

(6) 分辨力与分辨率

分辨力是描述传感器可感受到的被测量的最小变化的能力。如果输入量缓慢地变化并且输入变化值未超过某一范围时,传感器的输出不会发生变化,即传感器对此输入量的变化是分辨不出来的(见图 3-1-4)。只有当输入量的变化超过此范围时,其输出才会发生变化。人们将用满量程中使输出阶跃变化的输入量中最大的可分辨范围称为传感器的分辨力。将分辨力与满量程输出值的比值称为分辨率,即

$$\text{分辨率} = (\Delta x_{min}/Y_{FS}) \times 100\% \tag{3-1-7}$$

(7) 温度稳定性

将传感器的输入量设定在某个值,测量出相应的输出值,使环境温度上升或下降一定间隔,输出值会发生变化,说明传感器具有温度不稳定性。一般用温度系数来描述温度引起的误差,表示为

$$a_T = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_{FS}\Delta T} \times 100\% \tag{3-1-8}$$

式中 Y_2、Y_1 分别为温度 T_2、T_1 时的输出值,$\Delta T = T_2 - T_1$。

(8) 漂移

传感器的漂移是指在输入量不变的情况下，传感器输出量随着时间变化，此现象称为漂移。产生漂移的原因有两个方面：一是传感器自身结构参数；二是周围环境（如温度、湿度等）。

(9) 静态误差

静态误差指传感器在满量程内，任一点输出值相对于理论值的可能偏离程度。

(10) 阈值

阈值指能使传感器的输出端产生可测变化量的最小输入量值，即零点附近的分辨能力。取决于传感器噪声的大小。

2. 动态特性

所谓动态特性，是指传感器的输入量变化时，它的输出量的响应特性。一般应使输出量随时间的变化与输入量随时间的变化相近，否则输出量就不能反映输入量的值，测量变得没有意义。在实际工作中，传感器的动态特性常用它对某些标准输入信号的响应来表示。这是因为传感器对标准输入信号的响应容易用实验方法求得，并且它对标准输入信号的响应与它对任意输入信号的响应之间存在一定的关系，往往知道了前者就能推定后者。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两种，所以传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示。

(1) 阶跃响应

当输入为阶跃函数时，如图 3-1-5(a)所示，则传感器的响应函数分为两个响应过程，一个是从初始状态到接近终态之间的过程，即动态过程（又称为过渡过程），t 趋于无穷时，输出基本稳定，成为稳定过程，如图 3-1-5(b)所示。即

$$\begin{cases} t = 0, & X(t) = 0 \\ t > 0, & X(t) = A \end{cases} \tag{3-1-9}$$

$$\begin{cases} t = 0, & Y(t) = 0 \\ t > 0, & Y(t)\uparrow\text{，过渡区域} \\ t \to \infty, & Y(t) = B \end{cases} \tag{3-1-10}$$

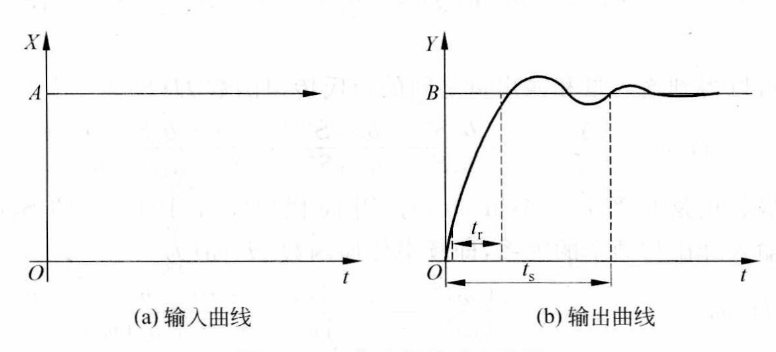


图 3-1-5 传感器的动态特性

过渡过程中有如下特性参数：

① 时间常数，是指输出量从 0 上升到稳态的 63%所需的时间。

② 上升时间，是指输出值从最终稳定值的 10%上升到 90%所需的时间。它表示传感

器的响应速度，t_r 小时，表明传感器对输入的响应速度快。

③ 响应时间，从输入量开始到输出值进入稳定值允许误差范围内所需的时间，也表示响应速度。

④ 震荡次数，是输出量在稳态值上下摆动的次数，震荡次数越小，表明稳定性越好。

⑤ 稳态误差，是响应的实际值与期望值之差，它反映稳态的精确程度。

(2) 频率响应

① 零阶传感器的数学模型

如果一个传感器的输入量随时间的变化为输入量的 b_0/a_0 倍，则输出与输入的关系可以表示为

$$a_0 Y(t) = b_0 X(t) \tag{3-1-11}$$

式中 b_0 为传感器的常数，a_0 为静态灵敏度。实际中，滑线电阻器的输出电压 $U(t)$ 与触头距边界的距离 $X(t)$ 成正比，可以将具有这种关系的传感器称为零阶传感器。

② 一阶传感器的数学模型

如果传感器电路中含有一个储能元件(电感或电容)，其输出量 $Y(t)$ 与输入量 $X(t)$ 的关系可以表示为

$$a_1 \frac{\mathrm{d}Y(t)}{\mathrm{d}t} + a_0 X(t) = b_0 X(t) \tag{3-1-12}$$

式中 b_0 为传感器的常数，a_0 为静态灵敏度。实际中，热电偶热所测量介质的温度 $T_1(t)$ 随介质温度 $T(t)$ 的关系满足(3-1-12)式。

③ 阶传感器系统的数学模型

对于线性系统的传感器，可以用常系数线性微分方程表示

$$a_n \frac{\mathrm{d}^n Y(t)}{\mathrm{d}t^n} + a_{n-1} \frac{\mathrm{d}^{n-1} Y(t)}{\mathrm{d}t^{n-1}} + \cdots + a_0 Y(t) = b_m \frac{\mathrm{d}^m X(t)}{\mathrm{d}t^m} + b_{m-1} \frac{\mathrm{d}^{m-1} X(t)}{\mathrm{d}t^{m-1}} + \cdots + b_0 X(t) \tag{3-1-13}$$

式中 a_n、a_{n-1}、…、a_0，b_m、b_{m-1}、…、b_0 均为传感器的常数，可以通过 n 次试验来确定。将(3-1-13)式进行拉氏变换，可以得到 $Y(S)$ 和 $X(S)$ 的方程如下：

$$(a_n S^n + a_{n-1} S^{n-1} + \cdots + a_1 S + a_0) Y(S) = (b_m S^m + b_{m-1} S^{m-1} + \cdots + b_1 S + b_0) X(S) \tag{3-1-14}$$

由(3-1-14)式可以得到输入量和输出量之间的拉氏传递函数 $H(S)$ 为

$$H(S) = \frac{Y}{X}(S) = \frac{b_m S^m + b_{m-1} S^{m-1} + \cdots + b_1 S + b_0}{a_n S^n + a_{n-1} S^{n-1} + \cdots + a_1 S + a_0} \tag{3-1-15}$$

若输入信号为正弦波 $X(t)=A\sin(\omega t)$ 时，用 $\mathrm{j}\omega$ 代替(3-1-15)式中的 S，则可以得到传感器的输出与输入之比与频率的关系，即频率传递函数 $H(\mathrm{j}\omega)$ 为

$$H(\mathrm{j}\omega) = \frac{Y}{X}(\mathrm{j}\omega) = \frac{b_m (\mathrm{j}\omega)^m + b_{m-1} (\mathrm{j}\omega)^{m-1} + \cdots + b_1 (\mathrm{j}\omega) + b_0}{a_n (\mathrm{j}\omega)^n + a_{n-1} (\mathrm{j}\omega)^{n-1} + \cdots + a_1 (\mathrm{j}\omega) + a_0} \tag{3-1-16}$$

式中 $\mathrm{j}=(-1)^{1/2}$，将 $X(t)=A\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}$ 和 $Y(t)=B\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}$ 代入(3-1-16)式，得

$$H(\mathrm{j}\omega) = \frac{Y}{X}(\mathrm{j}\omega) = \frac{B\mathrm{e}^{\mathrm{j}(\omega t + \mathrm{j})}}{A\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}} = \frac{b_m (\mathrm{j}\omega)^m + b_{m-1} (\mathrm{j}\omega)^{m-1} + \cdots + b_1 (\mathrm{j}\omega) + b_0}{a_n (\mathrm{j}\omega)^n + a_{n-1} (\mathrm{j}\omega)^{n-1} + \cdots + a_1 (\mathrm{j}\omega) + a_0} \tag{3-1-17}$$

率传递函数的模为 $|H(\mathrm{j}\omega)|$ 输出与输入的幅值之比 B/A，它与角频率 ω 的关系被称为幅频

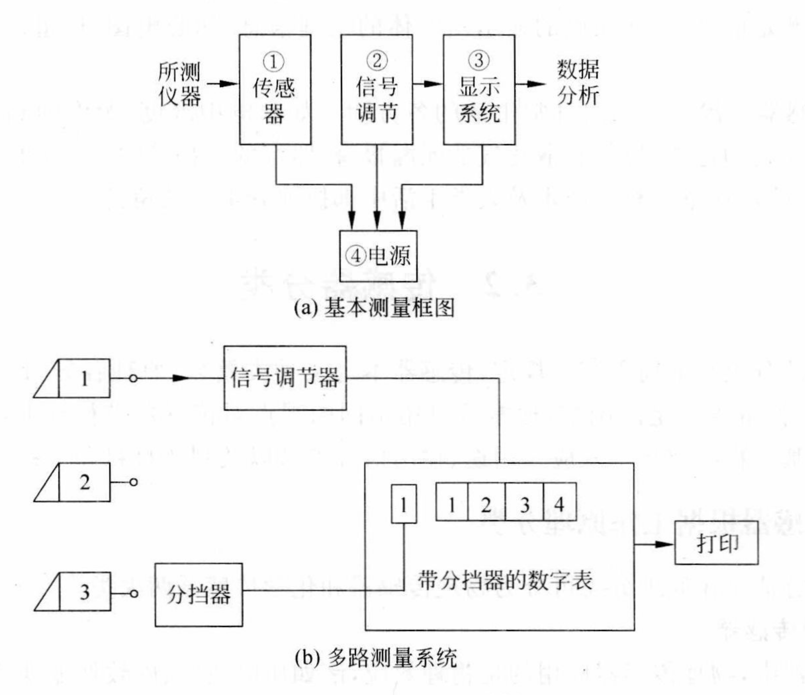
特性，输出与输入信号的相位之差与频率的关系 j(ω)称为相频特性。

3.1.3 传感器的基本应用

传感器基本上都应用在测量与控制系统中，而且都是其中的关键部件。它在测量系统中执行测量的功能，并将测定“量或性质”的值显示出来；在控制系统中将测量到的量或性质的信息进行分析，用于控制以达到预期的目的。

1. 在测量系统中的应用

基本的电子测量系统由传感器、信号调节、显示系统和电源等组成。其中信号调节部分可使用阻抗匹配器、多级放大器、数模转换器等；显示部分可使用模拟或数字表、纸带记录仪、字符打印机、示波器等。如一环境有两个或多个被测信号，则需要相同数量、相同种类的传感器，也需要各自的信号调节处理并显示输出。若只用同一个显示器，系统中加一手动开关或自动定时分挡器，见图 3-1-6 所示。



(a) 基本测量框图

(b) 多路测量系统

图 3-1-6 电子测量系统

2. 在控制系统中的应用

按控制方式将控制系统分为开环和闭环两种控制系统，将传感器测量出来的数据经信号调节器后显示出来，由操作员分析判断、控制(如提高温度、减小压力、截止流动、装填容器或改变速度等)的系统为开环控制系统。若传感器测量的数据经信号调节器后送入比较器，与参考数据比较，若二者之差超过一定的范围会输出一个信号可自动启动执行器，对被测量系统进行自动控制，这种控制系统成为闭环控制系统。

3. 传感器的应用领域

在工农业、国防、航空、航天、医疗卫生和生物工程等各领域，会遇到各种物理量、化学量和生物量，对它们的测量与控制都有十分重要的意义。

(1) 传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节。若没有它对原始的各种参数进行精确、可靠的测量,无论是信号转换、处理,还是最佳数据的现实与控制,都将成为一句空话。

(2) 传感器技术是构成现代信息技术系统的主要内容之一。信息系统包括三个主要的组成部分:感受外界各种刺激并及时做出反应的传感器技术,也就是信息的获取技术;传送信息的传输技术,也就是通信技术;处理信息的技术,也就是计算机技术。它们可以相互促进,但是不能相互替代,在现代信息系统中都起着各自的重要作用。

(3) 传感器是航空、航天和航海事业不可缺少的器件。在现代飞行器上装备着种类繁多的显示与控制系统,而传感器首当其冲对反应飞行器的参数、姿态和工作状态的各种量加以检测、以便操作者进行正确的操作。

(4) 传感器是机器人的重要组成部件。在工业机器人的控制系统中,要完成检测功能、操作与驱动功能及比较与判断功能等,必须借助于传感器。

(5) 传感器技术在生物医学方面也显露出广阔的前景。它能将人体各种生理信息转化成工程上已测定的量,从而正确的显示出人体的生理信息,如心电图、B 超、胃镜、血压器及 CT 等。

(6) 传感器已渗透到人们日常生活的各方面。如家电中温度、湿度的测控,音响系统、电视机和电风扇的遥控,煤气和液化气的泄漏报警,路灯的声控等都离不开传感器。

总之,传感器在整个科学技术及人类生活中都扮演着重要的角色。

3.2 传感器分类

传感器的分类目前尚无统一规定,传感器本身又种类繁多,原理各异,检测对象五花八门,给分类工作带来一定的困难,通常可以用不同的观点对传感器进行分类:转换原理(传感器工作的基本物理或化学效应)、用途、输出信号类型以及制作材料和工艺等。

3.2.1 传感器根据工作原理分类

根据传感器工作原理分类可分为物理传感器和化学传感器两大类。

1. 物理传感器

在传感器中,物理传感器应用的是物理效应,诸如压电效应、磁致伸缩现象、离化、极化、热电、光电、磁电等效应。被测信号量的微小变化都将转换成电信号。物理传感器是检测物理量的传感器。它是利用某些物理效应,把被测量的物理量转化成为便于处理的能量形式的信号的装置。其输出的信号和输入的信号有确定的关系。

主要的物理传感器有:光电式传感器、压电传感器、压阻式传感器、电磁式传感器、热电式传感器、光导纤维传感器等。

2. 化学传感器

化学传感器包括那些以化学吸附、电化学反应等现象为因果关系的传感器,被测信号量的微小变化也将转换成电信号。化学传感器是对各种化学物质敏感并将其浓度转换为电信号进行检测的仪器。对比于人的感觉器官,化学传感器大体对应于人的嗅觉和味觉器官。但并不是单纯的人器官的模拟,还能感受人的器官不能感受的某些物质,如 H_2、CO。化学传感器必须具有对待测化学物质的形状或分子结构选择性俘获的功能(接收器功能)和将俘

获的化学量有效转换为电信号的功能(转换器功能)。

(1) 按传感方式,化学传感器可分为接触式与非接触式化学传感器。

化学传感器的结构形式有两种:

第一种是分离型传感器。如离子传感器,它的分类通常是根据敏感膜的种类和换能器的类型来划分:①据敏感膜的种类划分:玻璃膜式离子传感器、液态膜式高于传感器、固态膜式离子传感器、以离子传感器为基本体的隔膜式传感器。②根据换能器的类型划分:电极型离子传感器、场效应晶体管型离子传感器、光导传感型离子传感器、声表面波型离子传感器。

第二种是组装一体化传感器。如半导体气体传感器,分子俘获功能与电流转换功能在同一部位进行,有利于化学传感器的微型化。

(2) 按检测对象,化学传感器分为:气体传感器、湿度传感器、离子传感器和生物传感器。

气体传感器的传感元件多为氧化物半导体,有时在其中加入微量贵金属作增敏剂,增加对气体的活化作用。对于电子给予性的还原性气体如氢、一氧化碳、烃等,用N型半导体,对接受电子性的氧化性气体如氧,用P型半导体。将半导体以膜状固定于绝缘基片或多孔烧结体上做成传感元件。

化学传感器在矿产资源的探测、气象观测和遥测、工业自动化、医学上远距离诊断和实时监测、农业上生鲜保存和鱼群探测、防盗、安全报警和节能等各方面都有重要的应用。

有些传感器既不能划分到物理类,也不能划分为化学类。大多数传感器是以物理原理为基础运作的。化学传感器技术问题较多,例如可靠性问题,规模生产的可能性,价格问题等,解决了这类难题,化学传感器的应用将会有巨大增长。

3.2.2 传感器按照用途分类

传感器按其所在的应用领域和工作原理可分为:压力敏和力敏传感器、位置传感器、液面传感器、能耗传感器、速度传感器、加速度传感器、射线辐射传感器、热敏传感器、24GHz雷达传感器、振动传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、真空度传感器、生物传感器等。

1. 压力敏和压力敏传感器

压力敏和压力敏传感器是支撑工业过程自动化的四大传感器之一。它应用广泛、影响面宽,不仅可以测量力和压力,还可以测量负荷、加速度、扭矩等其他物理量。利用现代半导体材料的压阻效应和弹性与集成电路工艺,研制出了半导体力敏和压力敏传感器,使这类传感器有了长足进步,而且半导体压力传感器正向集成化和智能化方向发展。

图3-2-1为电阻应变片的典型结构。主要由四个部分组成:一是金属电阻丝,它是应变片的转换元件;二是基底和覆盖层,基底是将应变传递到敏感栅的中间介质并起到电阻丝与试件之间的绝缘作用,覆盖层起着保护敏感栅的作用;三是粘结剂,它将电阻丝与基底粘贴在一起;四是引出

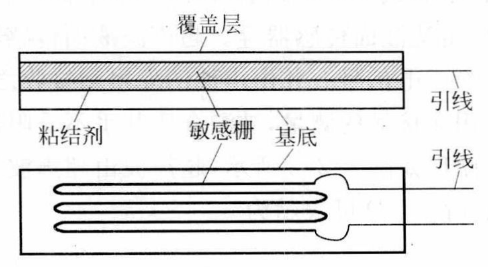


图3-2-1 电阻应变片的典型结构

线，作为连接测量的导线。

图 3-2-1 中应变片就是回线式应变片，它是将电阻丝绕制成栅粘在绝缘基片上制成。其特点是制作简单，性能稳定，价格便宜。

2. 位置传感器

目前在应用中，位置传感器分为两种。一种传感器通过磁性开关来检测气动活塞的位置，并输出二进制信号。另一种是用于机器人系统的高度精密定位传感器，它能够进行一个或多个轴的控制，并对高速的位置信号有很强的处理能力。下面介绍以霍尔元件为基础的一种位置传感器。

霍尔位置传感器是一种检测物体位置的磁场传感器。用它们可以检测磁场及其变化，可在各种与磁场有关的场合中使用。霍尔位置传感器以霍尔效应原理为其工作基础。霍尔位置传感器具有许多优点，它们的结构牢固，体积小，重量轻，寿命长，安装方便，功耗小，频率高(可达 1MHz)，耐震动，不怕灰尘、油污、水汽及盐雾等的污染或腐蚀。

其原理可简述如下：在一块通电的半导体薄片上，加上和薄片表面垂直的磁场 $\boldsymbol{B}$，在薄片的横向两侧会出现一个电压 U_H，这种现象就是霍尔效应，是由科学家爱德文·霍尔在 1879 年发现的。U_H 称为霍尔电势。

如图 3-2-2 所示，在磁场强度相同而极性相反的两个磁铁气隙中放置一个霍尔元件。当元件的控制电流 I 恒定不变时，霍尔电势 U_H 与磁感应强度 B 成正比。若磁场在一定范围内沿 x 方向变化梯度 dB/dx 为一常数，则当霍尔元件沿 x 方向移动时，U_H 的变化为

$$\frac{dU_H}{dx} = R_H I \frac{dB}{dx} = K \qquad (3\text{-}2\text{-}1)$$

式中 K 为位置传感器输出灵敏度。

图 3-2-2 霍尔位置传感器结构示意图

将(3-2-1)式积分后得

$$U_H = Kx \qquad (3\text{-}2\text{-}2)$$

(3-2-2)式说明霍尔电势 U_H 与位移量呈线性关系，其极性反映了元件位移的方向。磁场梯度越大，灵敏度越高；磁场梯度越均匀，输出线性度越好。

3. 液面传感器

将存于各种容器内的液体表面称为液面，在生产实践中，常常需要对液面的高度进行监控，这就需要液面传感器来实现。液面传感器分为两类：第一类为接触式，包括浮球式液面传感器、磁性液面传感器、投入式液面传感器、电动内浮球液面传感器、电动浮筒液面传感器、电容式液面传感器、磁致伸缩液面传感器等。第二类为非接触式，分为超声波液面传感器、雷达液面传感器等。超声波液面传感器利用声波经物体表面反射后被同一传感器接收，转换成电信号。并由声波的发射和接收之间的时间来计算传感器到被测物体的距离。由于采用非接触的测量，被测介质几乎不受限制，可广泛用于各种液体和固体物体高度的测量。其原理如图 3-2-3 所示，超声波由超声波发生器发出，经历 t 时间后返回，容器高度为 L，则液面高度 D 可表示为

$$D = L - \frac{ct}{2} \qquad (3\text{-}2\text{-}3)$$

式中 c 为超声波的速度。

4. 速度传感器和加速度传感器

速度传感器是能感受被测速度并转换成可用输出信号的传感器，速度包括线速度和角速度，与之相对应的就有线速度传感器和角速度传感器，都统称为速度传感器。加速度传感器就是能够检测物体的加速度并转换成输出信号的传感器，加速度传感器有电容式、压阻式、压电式等形式。

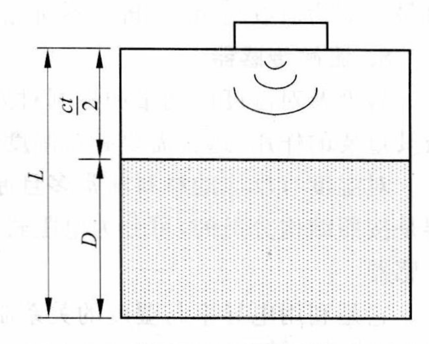


图 3-2-3 超声波液面传感器示意图

电容型加速度传感器的结构形式一般采用弹簧质量系统。当质量受加速度作用运动而改变质量块与固定电极之间的间隙进而使电容值变化。电容式加速度计与其他类型的加速度传感器相比具有灵敏度高、零频响应、环境适应性好等特点，尤其是受温度的影响比较小；但不足之处表现在信号的输入与输出为非线性，量程有限，受电缆的电容影响，以及电容传感器本身是高阻抗信号源，因此电容传感器的输出信号往往需通过后继电路给予改善。在实际应用中电容式加速度传感器较多地用于低频测量，其通用性不如压电式加速度传感器，且成本也比压电式加速度传感器高得多。

5. 射线辐射传感器

射线辐射传感器是用来检测 X 射线、红外线、紫外线、电磁辐射、核辐射等的传感器，可以将射线和辐射的各种参数转换为输出信号。红外辐射技术是近年来发展起来的一门新兴技术学科。它在各个领域中，特别是在科学研究、军事工程和医学方面起着极其重要的作用，如红外制导火箭、红外成像、红外遥感等。红外辐射技术的重要工具就是红外辐射传感器，它是遥感技术、空间科学的敏感部件。能将红外辐射量的变化转换为电量变化的装置称为红外传感器或叫红外探测器。

6. 热敏传感器

热敏传感器是利用导体或半导体的电阻率 ρ 随温度而变化这一物理现象来测量温度的传感器。如今又出现了基于半导体 PN 结的电流电压与温度有关的特性的热敏传感器。这类传感器具有输出线性好、测量精度高等特点；传感驱动电路、信号处理电路等都与温度传感部分集成在一起，因而封装后的组件体积非常小，使用方便，价格便宜，故在测温技术中越来越得到广泛应用。

7. 振动传感器

振动传感器是指能感受机械运动振动的参量(振动速度、频率，加速度等)并转换成可用输出信号的传感器。振动传感器并不是直接将原始要测的机械量转变为电量，而是将原始要测的机械量作为振动传感器的输入量，然后由机械接收部分加以接收，形成另一个适合于变换的机械量，最后由机电变换部分再将变换后机械量变换为电量。因此一个传感器的工作性能是由机械接收部分和机电变换部分的工作性能来决定的。

由于传感器内部机电变换原理的不同，输出的电量也各不相同。有的是将机械量的变化变换为电动势、电荷的变化，有的是将机械振动量的变化变换为电阻、电感等电参量的变化。一般来说，这些电量并不能直接被后续的显示、记录、分析仪器所接收。因此针对不同机电变换原理的传感器，必须附以专配的测量线路。测量线路的作用是将传感器的输出电

量最后变为后续显示、分析仪器所能接受的一般电压信号。

8. 湿敏传感器

湿度及对湿度的测量和控制对人类日常生活、工业生产、气象预报、物资仓储等都起着极其重要的作用，这就需要有对湿度进行测量和监测的湿敏传感器。

对湿度有反应的材料非常多且原理各不相同，按照原理分类就非常繁多，通常湿敏传感器是按照结构分类的，可分为电阻式、电容式和其他方式三大类。下面简要介绍电阻式湿度传感器。

它是利用电导率与湿度的关系制成电阻型湿度传感器，其中多孔陶瓷材料的种类最多。高分子电阻型湿敏传感器的主要材料为高分子固体电解质材料，如高氯酸锂-聚氯化乙烯 Nafion 膜、四乙基硅烷的等离子共聚膜等，具有感湿灵敏度高，线性度好，响应时间短，制作工艺简单，成本低等优点。

9. 磁敏传感器

磁敏传感器是一种将磁学量信号转换成电信号的器件或装置。近年来，磁敏传感器的应用日益扩大，地位越来越重要，按其结构主要分为体型和结型两大类。前者的代表有霍尔传感器，其主要材料 InSb（锑化铟）、InAs（砷化铟）、Ge（锗）、Si、GaAs 和 InSb、InAs 等。后者的代表有磁敏二极管、磁敏晶体管等，它们都是利用半导体材料内部的载流子随磁场改变运动方向这一特性制成的一种磁传感器，应用范围可分为模拟用途和数字用途。另外还有利用电磁感应原理制备的电式传感器。

10. 气敏传感器

用于检测气体气氛的传感器是气敏传感器。对于不同气体的检测有不同的方法，目前主要的方法有：利用半导体气体器件检测的电气法，使用电极和电解液对气体进行检测的化学法，利用气体对光折射率或光吸收等特性来检测气体的光学法。利用这些检测方法的物理效应、化学效应等机理研制出了很多气体传感器，从构成气体传感器材料的形态上通常将它们划分为干式和湿式两大类。凡利用固体感测气体的均为干式气体传感器，利用水溶液或电解质与电极感知气体的均为湿式气体传感器。

11. 真空传感器

真空传感器是能感受真空度并能转换成可用输出信号的传感器。其工作原理是介质的压力直接作用在传感器的膜片上，使膜片产生与介质压力成正比的微位移，使传感器的电阻发生变化，和用电子线路检测这一变化，并转换输出一个对应于这个压力的标准信号。

12. 生物传感器

生物传感器是用生物物质（如酶、蛋白质、DNA、抗体、抗原、生物膜、微生物、细胞等）作为识别元件，将生化反应转变成可定量的物理、化学信号，从而能够进行生命物质和化学物质检测和监控的传感器。

生物传感器对生物物质敏感并将其浓度转换为电信号进行检测的仪器。是由固定化的生物敏感材料作识别元件（包括酶、抗体、抗原、微生物、细胞、组织、核酸等生物活性物质），与适当的理化换能器（如氧电极、光敏管、场效应管、压电晶体等）及信号放大装置构成的分析工具或系统。生物传感器具有接收器与转换器的功能，对生物物质敏感并将其浓度转换为电信号进行检测。

生物传感器是用固定化生物成分或生物体作为敏感元件的传感器。生物传感器并不专

指用生物技术领域的传感器,它的应用领域还包括环境监测、医疗卫生和食品检验等。

除此之外还有用于监测能耗的能耗传感器和用于检测雷达波的雷达传感器,在这里不做详细介绍。

3.2.3 传感器按照其输出信号为标准分类

传感器按其输出信号的标准可分为:模拟传感器、数字传感器、膺数字传感器和开关传感器。

1. 模拟传感器

模拟传感器将被测量的非电学量转换成模拟电信号。它发出的是连续信号,用电压、电流、电阻等表示被测参数的大小。比如温度传感器、压力传感器等都是常见的模拟量传感器。在控制系统中,一个常见的术语就是模拟量和开关量。不论输入还是输出,一个参数要么是模拟量,要么是开关量。

对控制系统来说,由于CPU是二进制的,数据的每位有"0"和"1"两种状态,因此,开关量只要用CPU内部的一位即可表示,例如,用"0"表示开,用"1"表示关。而模拟量则根据精度,通常需要8位到16位才能表示一个模拟量。

最常见的模拟量是12位的,即精度为2^{12},最高精度约为0.025%。当然,在实际的控制系统中,模拟量的精度还要受模拟/数字转换器和仪表的精度限制,通常不可能达到这么高。

2. 数字传感器

数字传感器将被测量的非电学量转换成数字输出信号(包括直接和间接转换)。它是指将传统的模拟式传感器经过加装或改造A/D转换模块,使之输出信号为数字量(或数字编码)的传感器,主要包括:放大器、A/D转换器、微处理器(CPU)、存储器、通信接口电路等。

在微处理器和传感器变得越来越便宜的今天,全自动或半自动(通过人工指令进行高层次操作,自动处理低层次操作)系统可以包含更多智能性功能,能从其环境中获得并处理更多不同的参数。尤其是MEMS(微型机电系统)技术,它使数字传感器的体积非常微小并且能耗与成本也很低。

3. 膺数字传感器

膺数字传感器将被测量的信号量转换成频率信号或短周期信号的输出(包括直接或间接转换)。它有点接近于数字信号的传感器,现在的接近开关、光电开关等都是此种类型,因为其都可以将信号以脉冲的方式提供给控制器,也就是可以作为数字式的型号来用。

膺数字信号传感器的代表就有旋转编码器,如增量型旋转编码器,旋转一圈输出固定的脉冲数,如1000脉冲的,则转1圈输出1000脉冲。通过这个功能,可以进行测量长度、速度等。

4. 开关传感器

当一个被测量的信号达到某个特定的阈值时,开关传感器相应地输出一个设定的低电平或高电平信号。如接近开关就是利用电磁感应原理来工作的,与金属物体接触时,磁场的作用使得电路起振。开关管接通(或关断),接近开关只工作在0、1两种状态;电近开关由于其具有体积小,重复定位精度高,使用寿命长,抗干扰性能好,可靠性高,防尘,防油,乃振动等特点,被广泛用于各种自动化生产线,机电一体化设备及石油、化工、军工、科研等多种行业。

3.2.4 传感器按照其材料为标准分类

在外界因素的作用下，所有材料都会做出相应的、具有特征性的反应。它们中的那些对外界作用最敏感的材料，即那些具有功能特性的材料，被用来制作传感器的敏感元件。可将传感器分成下列几类。

(1) 按照其所用材料的类别分：金属聚合物传感器、陶瓷混合物传感器。金属聚合物传感器如导电聚合物生物传感器，它主要是用导电聚合物为载体或包覆材料固定生物活性成分(酶、抗原、抗体、微生物等)，并以此作为敏感元件，再与适当的信号转换和检测装置结合而成的器件。导电聚合物材料的出现为传感器的设计制作引发了新的思路，特别是在生物传感器和气体传感器方面具有广阔的应用前景。开发和利用导电聚合物的优异特性并使之实用化是导电聚合物传感器今后的研究主流。

(2) 按材料的物理性质分：导体、绝缘体、半导体、磁性材料。

(3) 按材料的晶体结构分：单晶、多晶、非晶材料。

与采用新材料紧密相关的传感器开发工作，可以归纳为下述三个方向：

(1) 在已知的材料中探索新的现象、效应和反应，然后使它们能在传感器技术中得到实际使用。

(2) 探索新的材料，应用那些已知的现象、效应和反应来改进传感器技术。

(3) 在研究新型材料的基础上探索新现象、新效应和反应，并在传感器技术中加以具体实施。

现代传感器制造业的进展取决于用于传感器技术的新材料和敏感元件的开发强度。传感器开发的基本趋势是和半导体以及介质材料的应用密切关联的。

3.2.5 传感器按照其制造工艺分类

传感器按照其制造工艺可分为集成传感器、薄膜传感器、厚膜传感器、陶瓷传感器等。

1. 集成传感器

它是用标准的生产硅基半导体集成电路的工艺技术制造的，通常还将用于初步处理被测信号的部分电路也集成在同一芯片上。

2. 薄膜传感器

它是利用真空沉积技术，将微细铂粉沉积在基片上形成薄膜。使用混合工艺时，同样可将部分电路集成在此基板上。

3. 厚膜传感器

厚膜传感器利用厚膜电阻的压阻效应研制而成。其应变电阻为具有压阻效应的厚膜钌酸盐电阻，并采用厚膜工艺技术直接印刷、烧结在陶瓷弹性体上。经高温烧结后，应变电阻和陶瓷弹性体牢固地形成整体，不再需要粘贴。由于自动化的蓬勃发展和现代数字电路对操作进行控制的容量增加，各种传感器在电子设备中变得越来越重要了。虽然厚膜传感器至今还没有大规模应用，但是在不久的将来，厚膜传感器一定能满足对传感器的较大量的需要。

4. 陶瓷传感器

陶瓷是一种包含三种物相(单晶相、玻璃相、气相)的多相系统。陶瓷传感器采用标准的

陶瓷工艺或某种变种工艺(溶胶-凝胶等)生产,完成适当的预备性操作之后,已成形的元件在高温中进行烧结。其工作过程主要是作用在陶瓷基片和测量膜片上的压差引起电容极板间电容值的变化并由位于陶瓷基片上的电极进行检测。

精细陶瓷材料包括氧化物、碳化物、氮化物、硫化物以及它们的复合化合物的多晶烧结体、厚膜和薄膜。陶瓷传感器能检测气体、离子、热、光、声、位置和电磁场等。其中气敏、湿敏、热敏方面的传感器多用半导体氧化物陶瓷材料制成,声敏、力敏、加速度和红外敏感方面的传感器多用铁电压电陶瓷材料。有的用一种材料完成多种敏感功能,有的将几种陶瓷材料组合一起制成多功能组合式陶瓷传感器。通过化学气相沉积、物理气相沉积或其他工艺技术能制成高灵敏度的薄膜,与其他材料相互组合成为陶瓷功能薄膜传感器,还可以同半导体集成电路复合实现信息检测一体化。

3.2.6 传感器根据测量目的不同分类

根据传感器测量目的不同可分为:物理型传感器、化学型传感器和生物型传感器。

物理型传感器是利用被测量物质的某些物理性质发生明显变化的特性而制成的。

化学型传感器是利用能把化学物质的成分、浓度等化学量转化成电学量的敏感元件制成的。

生物型传感器是利用各种生物或生物物质的特性做成的,用以检测与识别生物体内化学成分的传感器。

3.3 物联网中的传感器

传感网是物联网的重要成分,而传感器作为传感网的重感知方式,有着非常重要的作用。本节重点介绍物联网中的传感器。

3.3.1 传感器和物联网

物联网中的传感器比较传统传感器而言,最主要的不同是物联网中的传感器一般具有一定智能,可以进行简单的信号处理能力,并且可以把信号传递出去,通过与传感器连接的传输介质将传感器感知获得的信号传递给处理中心进行判断处理。因此,物联网中的传感器一般被称为智能传感器(intelligent sensor,smart sensor)。

智能传感器通常定义为:带有微处理器,具有信息处理功能的传感器。这里的“处理功能”主要包括:自检测、自修正、自保护功能。如自动采集数据、自检验、自处理、自动存储和记忆;自校零、自校正、自标定、自补偿、自寻故障、自修正、判断、决策、思维功能;能根据输入信息进行判断和制定决策、通过软件控制做出多种决定;双向通信、标准化数字输出或符号输出功能。

根据GB/T 7665—2005“传感器通用术语”国家标准,传感器的定义为:能感受规定的被测量,并按照一定规律转换成可用信号的器件或装置,它通常由敏感元件和转换元件组成。敏感元件指传感器中能直接感受(或响应)被测量的有源或无源元件,按被测量可分为力敏、热敏、光敏、磁敏、气敏、湿敏、压敏、离子敏、射线敏、生物敏、光纤敏等大类。

由传统意义上的传感器、微处理器和网络接口组成传感器节点。首先由传感器将被测

物理量转换为电信号，通过 A/D 转化为数字信号，经微处理器数据处理（滤波、校准）后，由网络接口模块完成与网络的数据交换。根据不同要求，这三部分可采用不同芯片的组合，也可以是单片式的。

3.3.2 物联网对传感器的特性要求

为了满足物联网大规模、低成本、无人值守、环境复杂、电池供电等外界环境条件，智能传感器需满足以下条件。

（1）微型化

物联网的特点要求传感器微型化。要求传感器的特征尺为 μm 级或 nm 级，重量 g 或 mg 级，体积为 mm^3 级。为此传感器必须采取先进的设计理念，最佳的工艺路线，最优的封装技术和新的敏感材料等手段。

（2）低成本

低成本是物联网大规模应用的前提。在传感器设计时采用低成本设计方法，提高传感器成品率，突破产业化生产技术，实现产业化生产。

（3）低功耗

因物联网是靠电池长期供电，为节约能源，传感器必须采用低功耗供电。采用低功耗设计原则，在技术上采用太阳能、光能、生物能作为传感器电源。

（4）抗干扰

能抗电磁辐射、雷电、强磁场、高湿、障碍物等恶劣环境。

（5）灵活性

传感器节点在物联网中应用时，节点通过一系列的软硬件标准，能实现面向应用的灵活编程要求。

传感器是物联网的重要组成之一，物联网系统组成中不可或缺的、重要的关键组成部分。传感器的性能决定物联网性能，它是物联网中获得信息的唯一手段和途径。传感器采集信息的准确、可靠、实时将直接影响到控制节点对信息的处理与传输。传感器的特性，如可靠性、实时性、抗干扰性等，对物联网应用系统的性能起到举足轻重的作用。

传感器升级提升了网络升级。传感器技术的升级换代将提升网络的升级换代。

当信息采集用第一代模拟传感器时，产生第一代传感器网络；当信息采集仍用第一代模拟传感器.控制站之间采用数字通信，产生第二代传感器网络；当信息采集采用第二代数字传感器或第三代智能传感器时，控制和通信采用全数字化技术，则产生第三代传感器网络；当信息采集采用第四代网络化智能传感器时则产生物联网。

3.3.3 传感器技术发展阶段及智能传感器演变过程

传感器技术发展大致分三个阶段。

第一阶段：结构型传感器。20 世纪 70 年代之前，这类传感器是利用物理学中的某些定律而制成的，传感器特性与它的结构材料没有太多关联，主要利用材料结构参数的变化来转换或感受信号。如用金属膜片制成的压力传感器，利用物理学中的胡克定律，利用金属膜片结构参数 t-片厚、h-波高、半径等变化检测压力。

第二阶段：物性型传感器。20 世纪 70 年代之后至 21 世纪初，这类传感器是利用物质

法则而制成的，主要利用材料的物性参数的变化来转换或感受信号。如利用硅材料的压阻效应，制作扩散硅压力传感器；利用硅的霍尔效应，制作硅材料霍尔磁敏器件，利用硅材料的光敏特性，制作硅光敏器……在这一阶段，传感器技术得到了蓬勃发展，促进了传感器的广泛应用，也推动了传感器上、下游行业的技术进步。

第三阶段：智能型传感器。这类传感器正在发展过程中，它是利用材料制备工艺的进步，与计算机技术和通信技术相结合，具有信息处理功能的传感器。物联网需用的传感器正是第四代智能网络化传感器。

智能传感器演变过程：

20世纪80年代，将信号处理电路（滤波、放大、调零）与传感器设计在一起，输出4～20mA电流或1～5V电压的模拟量输出。我们称之为“第一代”——模拟传感器。

20世纪80年代末到90年代中后期，将单片微处理器嵌入传感器中，实现温补、修正、校准，同时由A/D变换器将模拟信号转换为数字信号。这种类型的传感器不但有硬件，还可通过软件对信号进行简单处理，输出为数字信号。我们称之为“第二代”——数字传感器。

现场总线概念提出后，对传感器的设计提出了新要求，要求实现全数字、开放式的双向通信，测量和控制信息的交换在底层上主要是通过现场总线来完成，数据交换主要是通过Intranet等网络来实现，传感器设计上软件占主要地位，通过软件将传感器内部各个敏感单元或与外部的智能传感器单元联系在一起。我们称之为“第三代”——智能传感器。

进入21世纪后，由于MEMS技术、低能耗的模拟和数字电路技术、低能耗的无线射频(RF)技术、传感器技术的发展，使得开发小体积、低成本、低功耗的微传感器成为可能。这种微传感器一般装备有：一个用于感知外界环境物理量的敏感元件（如压力、温度、湿度、光、声、磁等），一个用于处理敏感元件采集信息的计算模块，一个用于通信的无线电收发模块，一个为微传感器的各种操作提供能量的电源模块。我们称之为“第四代”——智能网络化传感器。

3.3.4 传感器产业特点

传感器产业特点主要表现为以下几方面。

（1）基础面广，依附性强。传感技术的发展依附于敏感机理、敏感材料、工艺技术、工艺装备、检测技术等。敏感机理千差万别，敏感材料多种多样，工艺技术层出不穷，工艺装备各有千秋，检测技术大相径庭。没有上述五块基石支持，传感技术发展难以为继。

（2）技术密集，攻关难度大。传感技术是多学科、多技术的综合，特别是智能传感器，除涉及传感本身技术外（如MEMS技术），还涉及IC技术、计算机技术、无线通信技术等，在制备智能传感器过程，必须考虑这些技术的相融性、多样性、综合性和边缘性。某些关键技术的解决涉及数学、力学、材料学、工艺学、电子学、信息学、控制论等多种学科。

（3）产品规格多，形成规模难。传感器有3大系列，12大类，60小类，20000多种规格，做几个传感器样品容易，但要形成规模难，获得经济效益就困难了。这里除市场问题外，关键从样品到产品到商品有产业化市场、产业化技术，产业化装备，产业化投资等一系列问题。

（4）产业分割，应用分散。国内传感器产业分属各个部门，有电子系统、机械系统、国防系统、高校、中科院、地方部门等，很难集中优势，形成合力，甚至形成利益壁垒。传感器技术基本属于应用技术，主要依靠应用来拉动，而应用又分属各个行业，如自控、石化、炼油、发电

等行业，因此用拉动 GDP 的增长来衡量时，传感器在国民经济中的地位很难显现。

(5) 投资密集，投资强度高。传感器在产品研发过程中需资金投入外，更主要在工艺装备和测试设备方面的投资，对工艺线的厂房要求也很高，造价昂贵，特别是在实现传感器产业化规模生产时，其投资强度往往是产品研发强度的 10～50 倍，甚至 100 倍。

(6) 市场全球化，竞争激烈。在国内，中、高档传感器市场几乎均被国外控制，国外某些著名公司几乎都在国内设立生产企业和销售代理，国内企业在销售、成本方面的优势日趋下降，随着国外公司销售渠道的建立和产品价格下降，中、低档传感器产品市场被国外企业控制趋势日益明显。国内传感器市场开发越广，对国外传感器的依存度越高，中国在物联网发展、应用过程中，必须牢牢把握发展有自主知识产权的，有中国特色的中、高档传感器。

3.3.5 传感器行业国内外状况

1. 国外状况

全球传感器品种、规格、门类繁多，据不完全统计有 3 大系列，12 大类，60 小类，6000 余品种，20 000 余种规格。全球大约有 40 个国家，5000 余家从事传感器的研发和生产。2008 年全球传感器总销售额超过 500 亿美元，2010 年增至 600 亿美元以上，从 2005 年到 2008 年，世界传感器市场的年增长率略有下降，为 4.9%。世界非军用传感器市场，1998 年为 325 亿美元，从 1998 至 2008 平均增长率为 9%。

近年来，国外硅基压力传感器产品正逐步向高精度、高稳定性、高可靠性、网络化、智能化、集成化方向发展；其主流技术是微机械和微电子相结合的 MEMS 工艺、新材料应用技术、高精度补偿技术和高可靠性设计技术；发展方向是小型化、智能化、网络化。国外典型代表产品包括：

(1) 日本富士公司(FUJI)，精密微机电体加工工艺的高精度硅电容差压传感器及变送器；

(2) 日本横河电机公司(YOKOGAWA)，微机电加工工艺的硅谐振式压力传感器及变送器；

(3) 美国埃默生过程管理公司(AME)所属罗斯蒙特公司(Rosemount)，精密机械加工工艺的金属电容差压传感器及变送器；

(4) 美国通用公司(GE)所属德鲁克(DERUK)公司、美国精良公司(MEAS)、德国西门子公司(SIEMENS)、德国恩德斯豪斯公司(E+H)、瑞士凯乐公司(KELLER)，微机电加工工艺的扩散硅压阻式压力传感器及变送器。

2. 国内状况

我国传感技术的发展始于 20 世纪 50 年代初，70 年代研制生产了一批新型敏感元件和传感器，80 年代“敏感元件和传感器”列入国家攻关计划，1987 年国家科委制定了《传感器技术发展政策》白皮书，90 年代国家实施了“八五、九五传感技术研究”国家科技攻关计划，传感器产业化技术研究为“十五”重点，“十一五”期间某些产品研发入选了国家科委“863 计划”。2009 年，中国传感器市场总规模为 327 亿元人民币，市场容量约 29 亿只，2005～2009 年销售增幅为 39%。

3.3.6 传感技术发展趋势

传感技术的发展趋势有如下特点。

1. 系统化

不把传感器或传感技术作为一种单独器件或技术考虑，而是按照信息论和系统论要求，应用工程研究方法，强调传感器和传感技术发展的系统性和协同性。将传感器作为信息识别和处理技术的一个重要组成部分，将传感技术与计算机技术、通信技术协同发展，系统考虑传感技术、计算技术、通信技术之间的独立性、相融性、依存性。而物联网中所用的智能网络化传感器正是这种发展趋势的重要标志之一。

2. 创新性

创新性主要体现在利用新原理、新效应、新技术。工程应用和科技发展迫切需要的各种新型传感器和传感技术系统。如利用纳米技术，制作纳米传感器。这与传统传感器相比，尺寸减小、精度提高、性能大大改善，为传感器的制作提供了许多新方法。利用纳米技术制作的传感器，尺度为原子量级。这极大地丰富了传感器理论，提高了传感器制作水平，拓宽了传感器应用领域。又如利用量子效应研制出的量子传感器，像共振隧道二极管、量子阱激光器、量子干涉部件等，具有高速(比电子敏感器件快1000倍)、低耗(能耗比电子敏感器件低1000倍)、高效、高集成度、高效益等优点。再如美国科学家找到一种特殊溶液，使膜蛋白结构在该溶液长期维持稳定，从而成功地找到了大规模制造嗅觉传感器的新方法。

3. 微型化

自动化领域和工业应用需要传感器的体积越小越好。传感器的微型化是指敏感元件的特征尺寸为mm→μm→nm的缩减。传感器的微型性绝不仅仅是特征尺寸的缩微或减小，而是一种有新机理、新结构、新作用和新功能的高科技微型系统，其制备工艺涉及MEMS技术、IC技术、激光技术、精密超细加工技术等。如美国国家实验室研制出能检测5.5×10^{-15}g物质的硅微机械传感器，敏感单元是只有2μm长、50nm厚的硅悬臂梁。日本东京大学研制成功可安装在蜻蜓等昆虫翅膀上分析翅膀动作的微型风速传感器，每个传感器尺寸为1.5mm×3.0mm，采用长0.5mm、厚1μm的悬臂梁压电结构。ACMI研发实验室研制出全球最小的CMOS数字影像传感器，尺寸只有1mm。

4. 集成化

集成化包括硬件和软件两方面，包括单传感器集成，如单传感器阵列集成；多传感器集成，将多个功能相同、相近或不同的敏感元件集成为一维或二维传感器，即在同一芯片上，集成不同敏感元件，检测不同性质参数，实现敏感元件的多功能化：传感系统硬件集成，将敏感元件与调理电路、补偿电路集成在同一芯片上，使传感器由一单信号检测功能扩展到兼有检测、放大、运算、补偿功能；传感系统硬软件集成，将敏感元件、微处理器、通信模块集成在同一芯片上，使传感器具有智能功能。

5. 智能化

智能传感器(intelligent sensor)是具有信息处理功能的传感器。其带有微处理器，具有采集、处理、交换信息的能力，是传感器集成化与微处理器相结合的产物。一般智能机器人的感觉系统由多个传感器集合而成，采集的信息需要计算机进行处理，而使用智能传感器就可将信息分散处理，从而降低成本。与一般传感器相比，智能传感器具有以下三个优点：通

过软件技术可实现高精度的信息采集，而且成本低；具有一定的编程自动化能力；功能多样化。

6. 无源化

传感器多为非电量向电量的转化，工作时离不开电源，在野外现场或远离电网的地方，往往用电池或太阳能供电。微功耗的无源传感器是必然的发展方向，既节省能源，又能提高系统寿命。德国研制出一种传感器，能把所通过的流体（液体或气体）的能量自动转换成电力，即该传感器能自行“发电”，产生的电力在 μW 或 mW 级别，能够满足循环运行传感器能源需要。该传感器转换电力的过程在固定容腔里进行，媒介流体通过容腔时，由于附壁效应，流体是贴着管壁流动的，持续流动会产生周期性压力波动，由回馈部件传导到压电导陶瓷，由压电陶瓷最终把流体的能源转换成电力。日本精工仪器推出的最大耗电电流仅 6μA 的 CMOS 温度传感器。英国 Perpetuum 公司与澳大利亚 CAP-XX 公司开发出了无需电池即可驱动的无线传感器终端，该终端配备将振动转换为能量的微型发电机和双层电容器，可将安装地点的振动作为能量使用，发电剩余的电力储存在双层电容器中。

7. 产业化

加速形成传感器从研发到产业生产的模式，揭示传感器产业规律，解决产业过程中的技术难点，分析传感器的应用技术和解决路径，正确处理传感器高性能和性能以及价格中的辩证关系。产业化是传感器真正走出实验室的关键步骤。

3.4 传感网

3.4.1 传感网的结构

传感网技术综合了传感器技术、嵌入式技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术，具有多学科高度交叉、技术高度集成的特点。传感器节点之间通过无线方式，采用自组织多跳的形式组成一个传感器网络，利用各类集成化卫星传感器实施检测、感知和采集各种环境信息或检测对象的信息。这些收集的信息以卫星方式通过多跳路径传送到用户终端，传输过程中会对信息进行各种处理，使其能够满足特定对象的需求，从而实现物理世界、计算世界以及人类社会三元世界的联通。

传感网可以用最低的成本达到最大的灵活性，可以连接任何有通信需求的终端设备，采集数据或发送指令。在实际应用过程中，可以将数百个乃至上千个传感器或执行单元设备任意抛撒在所需的场地，经过一段有限的时间，各节点之间可以按照各种协议建立起任意两点之间的信息传播路径，因此可以从其中任何一个传感器单元获取所有其他传感器单元的信息。同时，由于是无线自组织的双向通信网络，传感器网络能以最大的灵活性自动完成不规则分布的各种传感器与控制节点的组网，同时具有较强的动态调整能力，某些网络还具有一定的移动能力。

传感网由许多功能相同或不同的无线传感器节点组成。在某个应用区域分布着很多的无线传感器网络节点，各节点之间通过无线方式传输信息。每一个传感器节点包括数据采集模块（传感器、A/D 转换器）、数据处理和控制模块（微处理器、存储器）、通信模块（无线收发器）和供电模块（电池、DC/AC 能量转换器）等部分，节点在网络中可以充当数据采集者、

数据中转站或类头节点(cluster-head node)角色。

传感网的结构如图 3-4-1 所示,传感网系统通常包括传感器节点(sensor node)、汇聚节点(sink node)和管理节点。大量传感器节点随机部署在监测区域(sensor field)内部或附近,能够通过自组织方式构成网络。传感器节点监测的数据沿着其他传感器节点逐跳地进行传输,在传输过程中监测数据可能被多个节点处理,经过多跳后路由到汇聚节点,最后通过互联网或卫星到达管理节点。用户通过管理节点对传感器网络进行配置和管理,发布监测任务以及收集监测数据。

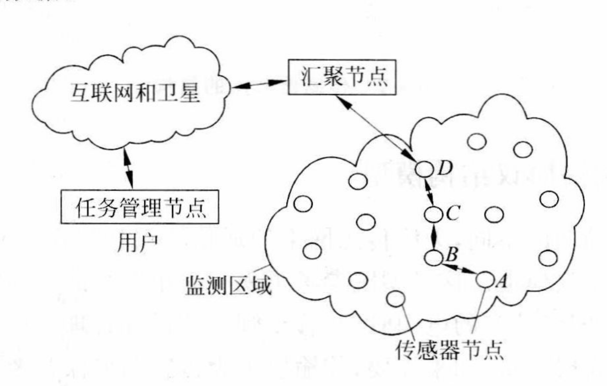


图 3-4-1 传感网的体系结构

传感器节点通常是一个微型的嵌入式系统,它的处理能力、存储能力和通信能力相对较弱,通过携带能量有限的电池供电。从网络功能上看,每个传感器节点兼顾传统网络节点的终端和路由器双重功能,除了进行本地信息收集和数据处理外,还要对其他节点转发来的数据进行存储、管理和融合等处理,同时与其他节点协作完成一些特定任务。目前传感器节点的软硬件技术是传感器网络研究的重点。

汇聚节点的处理能力、存储能力和通信能力相对比较强,它连接传感器网络与因特网等外部网络,实现两种协议栈之间的通信协议转换,同时发布管理节点的监测任务,并把收集的数据转发到外部网络上。汇聚节点既可以是一个具有增强功能的传感器节点,把足够的能量供给和更多的内存与计算资源,也可以是没有监测功能仅带有无线通信接口的特殊网关设备。

3.4.2 传感器节点结构

在传感网中,传感器节点是组成无线传感网的基本单位,是构成无线传感网的基础平台。它完成数据的采集和在监测区域中传输,其中的电源模块还负责节点的驱动,因此,节点技术的进步与无线传感网的发展有着密切的联系,直接决定了整个网络的性能。

传感器节点的基本结构如图 3-4-2 所示。

电源为传感器提供正常工作所必需的能源。感知单元用于感知、获取外界的信息,并将其转换为数字信号。处理单元负责协调节点各部分的工作,如对感知单元获取的信息进行必要的处理、保存,控制感知单元和电源的工作模式等。通信模块负责与其他传感器或收发者的通信。软件则为传感器提供必要的软件支持,如嵌入式操作系统、嵌入式数据库系统等。

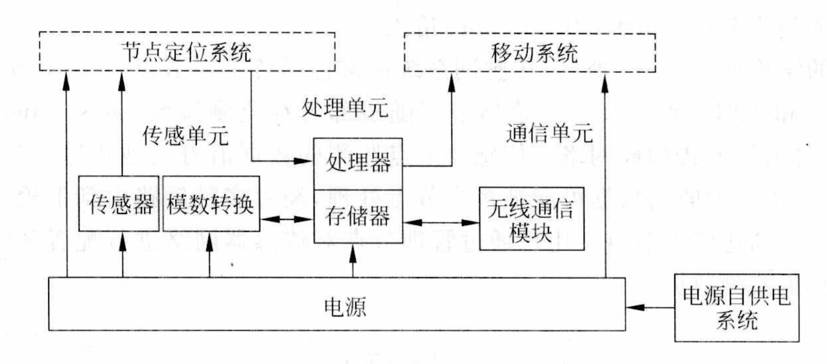


图 3-4-2 传感器节点的结构

3.4.3 无线传感网络协议结构模型

随着应用和体系结构的不同，无线传感网络的通信协议栈也不尽相同，图 3-4-3 是传感节点使用的最典型的协议模型。该模型既参考了现有通用网络的 TCP/IP 和 OSI 模型的架构，同时又包含了传感网络特有的电源管理、移动管理及任务管理。应用层为不同的应用提供了一个相对统一的高层接口；如果需要，传输层可为传感网络保持数据流或保证与因特网连接；网络层主要关心数据的路由；数据链路层协调无线媒质的访问，尽量减少相邻节点广播时的冲突；物理层为系统提供一个简单、稳定的调制、传输和接收系统。除此而外，电源、移动和任务管理负责传感节点能量、移动和任务分配的监测，帮助传感节点协调感测任务，尽量减少整个系统的功耗。另外，协议栈还包括能量管理平台、移动管理平台和任务管理平台。这些管理平台的传感器节点能够按照能源高效的方式协同工作，在节点移动的传感器网络中转发数据，并支持多任务和资源共享。各层协议和平台的功能如下：

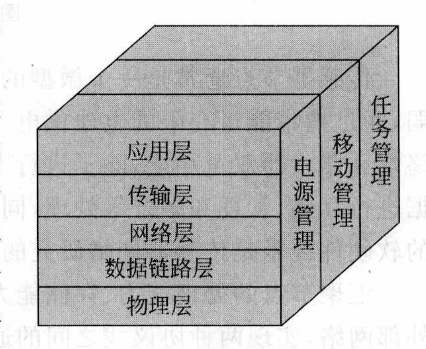


图 3-4-3 传感网协议结构模型

- 物理层提供简单但健壮的信号调制和无线收发技术；
- 数据链路层负责数据成帧、帧检测、媒体访问和差错控制；
- 网络层主要负责路由生成与路由选择；
- 传输层负责数据流的传输控制，是保证通信服务质量的重要部分；
- 应用层包括一系列基于监测任务的应用层软件；
- 能量管理平台管理传感器节点如何使用能源，在各个协议层都需要考虑节省能量；
- 移动管理平台检测并注册传感器节点的移动，维护到汇聚节点的路由，使得传感器节点能够动态跟踪其邻居的位置；
- 任务管理平台在一个给定的区域内平衡和调度监测任务。

图 3-4-4 所示的协议栈细化并改进了原始模型。定位和时间同步子层在协议栈中的位置比较特殊。它们既要依赖于数据传输通道进行协作定位和时间同步协商，同时又要为网络协议各层提供信息支持，如基于时分复用的 MAC 协议，基于地理位置的路由协议等很多传感器网络协议都需要定位和同步信息。所以在图 3-4-4 中用到倒 L 形描述这两个功能子

层。图 3-4-4 中的诸多机制一部分融入图 3-4-3 所示的各层协议中，用以优化各管理协议流程；另一部分独立在协议外层，通过各种收集和配置接口对相应机制进行配置和监控。如能量管理，在图 3-4-3 中的每个协议层次中都要增加能量控制代码，并提供给操作系统进行能量分配决策；QoS 管理在各协议层设计队列管理、优先级机制或者带宽预留等机制，并对特定应用的数据给予特别处理；拓扑控制利用物理层、链路层或路由层完成拓扑生成，反过来又为它们提供基础信息支持，优化 MAC 协议和路由协议的协议过程，提高协议效率，减少网络能量消耗；网络管理则要求协议各层嵌入各种信息接口，并定时收集协议运行状态和流量信息，协调控制网络中各个协议组件的运行。

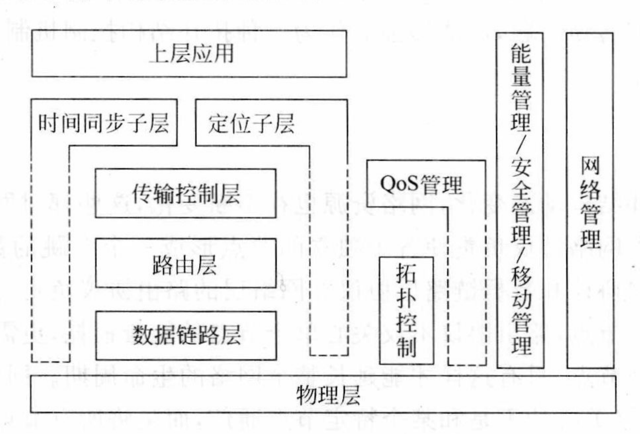


图 3-4-4 传感网络协议栈

3.5 传感网的技术

传感网作为当今信息领域新的研究热点，涉及多学科交叉的研究领域，具有天生的应用相关性，利用通用平台构建的系统都无法达到最优效果。传感网技术的应用要求网络中节点设备能够在有限能量（功率）供给下实现对目标的长时间监控，因此网络运行的能量效率是一切技术元素的优化目标。下面从核心关键技术和关键支撑技术两个层面分别介绍应用系统所必需的设计和优化的技术要点。

3.5.1 网络拓扑控制

对于无线的、自组织的传感网而言，网络拓扑控制有着非常重要的意义。通过拓扑控制自动生成的良好的网络拓扑结构，能够提高路由协议和 MAC 协议的效率，可为数据融合、时间同步和目标定位等很多方面奠定基础，有利于节省节点的能量，以此来延长网络的生存期。因此，拓扑控制是无线传感器网络研究的核心技术之一。

另外，传感网拓扑控制目前主要的研究问题是在满足网络覆盖度和连通度的前提下，通过功率控制和骨干网节点选择，剔除节点之间不必要的无线通信链路，生成一个高效的数据转发的网络拓扑结构。拓扑控制可以分为节点功率控制和层次型拓扑结构形成两个方面。功率控制机制调节网络中每个节点的发射功率，在满足网络连通度的前提下，减少节点的发送功率，均衡节点单跳可达的邻居数目；已经剔除了 COMPOW 等统一功率分配算法，

LINT/LILT 和 LMN/LMA 等基于节点度数的算法，CBTC、LMST、RNG、DRNG 和 DLSS 等基于邻近图的近似算法。层次型的拓扑控制利用分簇机制，让一些节点作为簇头节点，由簇头节点形成一个处理并转发数据的骨干网，其他非骨干网节点可以暂时关闭通信模块，进入休眠状态以节省能量；目前提出了 TopDisc 成簇算法，改进的 GAF 虚拟地理网格分簇算法，以及 LEACH 和 HEED 等自组织成簇算法。

除了传统的功率控制和层次型拓扑控制，人们也提出了启发式的节点唤醒和休眠机制。该机制能够使节点在没有时间发生时设置通信模块为休眠状态，而在有事件发生时及时自动醒来并唤醒邻居节点，形成数据装法的拓扑结构。这种机制重点在于解决节点在睡眠状态和活动状态之间的转换问题，不能够独立作为一种拓扑结构控制机制，因此需要与其他拓扑控制算法结合使用。

3.5.2 网络协议

传感器网络拓扑结构动态变化，网络资源也在不断变化，这些都对网络协议设计提出了更高的要求。传感器网络协议负责使各个独立的节点形成一个多跳的数据传输网络，目前研究的重点是网络层协议和数据链路层协议。网络层的路由协议负责将数据分组从源节点通过网络发送到目的节点，路由协议不仅关心单个节点的能量损耗，更需要将整个网络的能耗均匀地分布到各个节点，只有这样才能延长整个网络的生命周期。同时，传感器网络的路由以数据为中心，网络关心的不是和某个特定节点通信，而是将所有节点采集的数据传输到汇聚节点进行处理。

传统无线通信网络研究的重点放在无线通信的服务质量（quality of service，QoS）上，而无线传感器节点是随机分布，电池供电，因此目前无线传感器网络路由协议的研究重点是放在如何提高能量效率上，当前流行的几个无线传感器网络的路由协议如下。

1. 泛洪协议

泛洪（flooding）协议是一种传统的无线通信路由协议。该协议规定，每个节点接收来自其他节点的信息，并以广播的形式发送给其他邻居节点。如此继续，最后将信息数据发送给目的节点。其优点在于：实现简单，不需要为保持网络拓扑信息和实现复杂路由发现算法消耗计算资源，适用于健壮性较高的场合。缺点是：这个协议容易引起信息的“内爆”（implosion）和“重叠”（overlap），造成资源的浪费。因此在泛洪协议的基础上，提出了闲聊（gossiping）协议。

2. Gossiping 协议

Gossiping 协议是在泛洪协议的基础上进行改进而提出的。它传播信息的途径是通过随机地选择一个邻居节点，获得信息的邻居节点以同样的方式随机地选择下一个节点进行信息传递。这种方式避免了以广播形式进行信息传播的能量消耗，但其代价是延长了信息的传递时间。虽然 Gossiping 协议在一定程度上解决了信息的内爆，但是仍然存在信息的重叠现象。

3. SPIN 协议

SPIN（sensor protocol for information via negotiation）协议是一组基于协商并且具有能量自适应功能的信息传播协议。SPIN 协议的目的是：通过节点之间的协商，解决 Flooding 协议和 Gossiping 协议的内爆和重叠现象。SPIN 协议有 3 种类型的消息，即

ADC、REQ 和 DATA。

(1) ADC 用于数据的广播,当某一个节点有数据可以共享时,可以用其进行数据信息广播。

(2) REQ 用于请求发送数据,当某一个节点希望接收 DATA 数据包时,发送 REQ 数据包。

(3) DATA 为传感器采集的数据包。在发送一个 DATA 数据包之前,一个传感器节点首先对外广播 ADV 数据包,如果某一个节点希望接收要传来的数据信息,则向发送 ADV 数据包的节点回复 REQ 数据包。因此,便建立起发送节点和接收节点的联系,发送节点便向接收节点发送 DATA 数据包。

4. 定向扩散(directed diffusion)协议

定向扩散协议是一种以数据为中心的信息传播协议。定向扩散算法的整个过程可以分为兴趣扩散、梯度建立以及路径加强三个阶段。在兴趣扩散阶段,汇聚节点向传感器节点发送其想要获取的信息种类或内容。兴趣消息中含有任务类型、目标区域、数据发送速率、时间戳等参数。每个传感器节点在收到该信息后,将其保存在 CACHE 中。当整个信息要求传遍整个传感器网络后,便在传感器节点和汇聚节点之间建立起一个梯度场,梯度场的建立是根据成本最小化和能量自适应原则。一旦传感器节点收集到汇聚节点感兴趣的数据,就会根据建立的梯度场寻求最快路径进行数据传递。

5. LEACH 协议

LEACH (low-energy adaptive clustering hierarchy)是一种以最小化传感器网络能量损耗为目标的分层式协议。该协议的主要思想是通过随机选择类头节点,平均分担无线传感器网络的中继通信业务来达到平均消耗传感器网络中节点能量的目的,进而可以延长网络的生命周期。LEACH 协议可以将网络生命周期延长 15%。LEACH 协议分为两个阶段:类准备阶段和数据传输阶段。类准备阶段和数据传输阶段所持续的时间总和称为一个轮回。

在类准备阶段,LEACH 协议随机选择一个传感器节点作为类头节点,随机性确保类头与基站之间数据传输的高能耗成本均匀的分摊到所有传感器节点上。

3.5.3 网络安全

同其他无线网络一样,安全问题是无线传感器网络必须重点考虑的问题。由于采用的是无线传输信道,传感器网络存在窃听、恶意路由、消息篡改等问题,安全问题显得尤为重要。

无线传感器网络具有一些非常显著的特点,因此安全问题的解决方法也不尽相同,在进行无线传感器网络的安全设计时,必须考虑到如下一些问题:

(1) 受制于有限的计算能力和存储空间,密钥过长、时间和空间复杂度较大的安全算法不适合无线传感器网络,而以定制的流加密和块加密的 RC4/6 等系列算法却比较适合。

(2) 缺乏后期节点部署的预备知识,在网络部署前节点之间的连接性是未知的,因而无法使用公共密钥安全体系,这种网络要实现点对点的动态安全连接是非常困难的。

(3) 对于某个实用的无线传感器网络,在制定安全机制时,必须着眼于整个网络的安全问题,而不能只局限在某一个节点、某一些节点或者点到点之间传输的安全问题。

3.5.4 时间同步

同步管理主要是指时间的同步管理。分布式无线传感器网络应用中，每个传感器节点都有自己的本地时钟，不同节点的晶振频率存在偏差，温度和电磁波的干扰也会造成节点之间的运行时间偏差。而无线传感器网络本质上是一个分布式协同工作的网络系统，很多应用都要求网络节点之间相互协同配合，因此时间同步是同步管理机制的重要内容。

无线传感器网络事件同步机制设计的目的是为网络所有节点的本地时钟提供共同的时间戳，一般地关注以下几个主要的性能参数。

- 能量效率；
- 可扩展性及健壮性；
- 精确度；
- 有效同步范围；
- 成本和尺寸。

3.5.5 定位技术

位置信息是传感器节点采集数据中不可缺少的部分，没有位置信息的监测消息通常毫无意义。确定事件发生的位置或采集数据的节点位置是传感器网络最基本的功能之一。为了提供有效的位置信息，随机部署的传感器节点必须能够在布置后确定自身位置。由于传感器节点存在资源有限、随机部署、通信易受环境干扰甚至节点失效等特点，定位机制必须满足自组织性、健壮性、能量高效、分布式计算等要求。

根据节点位置是否确定，传感器节点分为信标节点和位置未知节点。信标节点的位置是已知的，位置未知节点需要根据少数信标节点，按照某种定位机制确定自身的位置。在传感网定位过程中，通常会使用三边测量法、三角测量法或极大似然估计法确定节点位置。根据定位过程中是否实际测量节点间的距离或角度，把传感网中的定位分类为基于距离的定位和距离无关的定位。

基于距离的定位机制就是通过测量相邻节点间的实际距离或方位在确定未知节点的位置，通常采用测距、定位和修正等步骤实现。根据测量节点间距离或方位时所采用的方法，基于距离的定位分为基于 TOA 的定位、基于 TDOA 的定位、基于 AOA 的定位、基于 RSSI 的定位等。由于要实际测量节点间的距离或角度，基于距离的定位机制通常定位精度相对较高，所以对节点的硬件也提出了很高的要求。距离无关的定位机制无须实际测量节点间的绝对距离或方位就能够确定未知节点的位置，目前提出的定位机制主要有质心算法、DV-Hop 算法、Amorphous 算法、APIT 算法等。由于无须测量节点间的绝对距离或方位，因而降低了对节点硬件的要求，使得节点成本更适合于大规模传感器网络。距离无关的定位机制的定位性能受环境因素的影响小，虽然定位误差相应有所增加，但定位精度能够满足多数传感器网络应用的要求，是目前大家重点关注的定位机制。

目前最常用的定位技术是全球定位系统 GPS(globe position system)，但是 GPS 技术定位只适合于视距通信的场合，用户节点通常能耗高、体积较大且成本较高，并不适合低成本自组织无线传感器网络。

无线传感器网络由于资源和能量受限，因此对定位算法和定位技术都提出了较高的要求。其定位技术或定位算法通常需要具备以下4个重要特征。

- 自组织性；
- 能量高效特性；
- 分布式计算特性；
- 健壮性。

3.5.6 数据融合

传感器网络存在能量约束，减少传输的数据量能够有效地节省能量，因此在从各个传感器节点收集数据的过程中，可利用节点的本地结算和存储能力处理数据的融合，去除冗余信息，从而达到节省能量的目的。由于传感器节点的易失效性，传感器网络也需要数据融合技术多种数据进行综合，提高信息的准确度。

数据融合技术具有以下几个作用：

（1）节省能量。在部署无线传感器网络时，为了保证整个网络的可靠性和监测信息的准确性，配置节点时考虑了一定的冗余度。

（2）获取更准确的信息。由于受到环境变化的影响，来自传感器节点的数据存在着较高的不可靠性，通过对监测同一区域的传感器节点采集的数据进行综合，可以有效地提高获取信息的精度和可信度。

（3）提高数据收集效率。通过进行数据融合，可以减少网络数据的传输量，从而降低传输拥塞概率，降低数据传输延迟，减少传输数据冲突碰撞现象，可在一定程度上提高网络收集数据的效率。

数据融合技术可以与传感器网络的多个协议层次进行结合。在应用层设计中，可以利用分布式数据库技术，对采集到的数据进行逐步筛选，达到融合的效果；在网络层中，很多路由协议均结合了数据融合机制，以期减少数据传输量。数据融合技术已经在目标跟踪、目标自动识别等领域得到了广泛的应用。

数据融合技术在节省能量、提高信息准确度地同时，要以牺牲其他方面的性能为代价。首先是延时的代价，在数据传送过程中寻找易于进行数据融合的路由、进行数据融合操作、为融合而等待其他数据的到来，这三个方面都可能增加网络的平均延时。其次是健壮性的代价，传感器网络相对于传统网络有更高的节点失效率以及数据丢失率，数据融合可以大幅度降低数据的冗余性，但丢失相同的数据量可能损失更多的信息，因此相对而言也降低了网络的健壮性。

3.5.7 数据管理

从数据存储的角度来看，传感网可视为一种分布式数据库。以数据库的方法在传感网中进行数据管理，可以将存储在网络中的数据的逻辑视图与网络中的实现进行分离，使得传感器网络的用户只需要关心数据查询的逻辑结构，无须关心实现细节。虽然对网络所存储的数据进行抽象会在一定程度上影响执行效率，但可以显著增强传感器网络的易用性。美国加州大学伯克利分校的Tiny DB系统和康奈尔大学的Cougar系统是目前具有代表性的

传感器数据管理系统。

传感器网络的数据管理与传统的分布式数据库有很大的差别。由于传感器节点能量受限且容易失效，数据管理系统必须在尽量减少能量消耗的同时提供有效的数据服务。同时，传感器网络中节点数量庞大，且传感器节点产生的是无限的数据流，无法通过传统的分布式数据库的数据管理技术进行分析处理。此外，对传感器网络数据的查询经常是连续的查询或随机抽样的查询，这也使得传统分布式数据库的数据管理技术不适用于传感器网络。

传感网的数据管理系统的结构主要有集中式、半分布式、分布式以及层次式结构，目前大多数研究工作均集中在半分布式结构方面。传感器网络中数据的存储采用网络外部存储、本地存储和以数据为中心的存储三种方式。相对于其他两种方式，以数据为中心的存储方式可以在通信效率和能量消耗两个方面获得很好的折中。基于地理散列表的方法便是一种常用的以数据为中心的数据存储方式。在传感网中，既可以为数据建立一维索引，也可以建立多维索引。DIFS(Distributed Index for Features in Sensor network)系统中采用的是一维索引的方法。DIM(Distributed Index for Multidimensional dam)是一种使用于传感网的多维索引方法。传感网的数据查询语言目前多采用类 SQL 的语言。查询操作可以按照集中式、分布式或流水线式查询进行设计。集中式查询由于传送了冗余数据而消耗额外的能量；分布式查询利用聚集技术可以显著降低通信开销；而流水线式聚集技术可以提高分布式查询的聚集正确性。传感网中，队连续查询的处理也是需要考虑的方面，CACQ 技术可以处理传感网节点上的单连续查询和多连续查询请求。

3.5.8 无线通信技术

传感器网络需要低功耗短距离的无线通信技术。IEEE 802.15.4 标准是针对低速无线个人域网络的无线通信标准，把低功耗、低成本作为设计的主要目标，只在为个人或者家庭范围内不同设备之间低速联网提供统一标准。由于 IEEE802.15.4 标准的网络特征与无线传感网存在很多相似之处，故很多研究机构把它作为无线传感网的无线通信平台。

超宽带技术(UWB)是一种极具潜力的无线通信技术。超宽带技术具有对信道衰落不敏感、发射信号功率谱密度低、低截获能力、系统复杂度低、能提供数厘米的定位精度等优点，非常适合应用在无线传感器网络中。迄今为止关于 UWB 有两种技术方案，一种是以 Free Scale 公司为代表的 DS-CDMA 单频带方式，另一种是由英特尔、德州仪器等公司共同提出的多频带 OFDM 方案，但还没有一种方案成为正式的国际标准。

3.5.9 嵌入式操作系统

传感器节点是一个微型的嵌入式系统，携带非常有限的硬件资源，需要操作系统能够节能高效地使用其有限的内存、处理器和通信模块，且能够对各种特定应用提供最大的支持。在面向无线传感器网络的操作系统的支持下，多个应用可以并发地使用系统的有限资源。

传感器节点有两个突出的特点。一个特点是并发性密集，即可能存在多个需要同时执行的逻辑控制，这需要操作系统能够有效地满足这种发生频繁、并发成度高、执行过程比较

短的逻辑控制流程；另一个特点是传感器节点模块化程度很高，要求操作系统能够让应用程序方便地对硬件进行控制，且保证在不影响整体开销的情况下，应用程序中的各个部分能够比较方便地进行重新组合。上述这些特点对设计面向无线传感网研发了 Tiny OS 操作系统，在科研机构的研究中得到比较广泛的使用，但仍然存在不足之处。

3.5.10 应用层技术

传感器网络应用层由各种面向应用的软件系统构成，部署的传感器网络往往执行多种任务。应用层的研究主要是各种传感器网络应用系统的开发和多任务之间的协调，如作战环境侦查与监控系统、军事侦查系统、情报获取系统、战场监测与指挥系统、环境监测系统、交通管理系统、灾难预防系统、危险区域监测系统、有灭绝危险的动物或珍贵动物的跟踪监护系统、民用和工程设施的安全性监测系统、生物医学监测、治疗系统和智能维护等。

传感器网络应用开发环境的研究旨在为应用系统的开发提供有效的软件开发环境和软件工具，需要解决的问题包括传感器网络程序设计语言，传感器网络程序设计方法学，传感器网络软件开发环境和工具，传感器网络软件测试工具的研究，面向应用的系统服务（如位置管理和服务法规等），基于感知数据的理解、决策和举动的理论与技术（如感知数据的决策理论、反馈理论、新的统计算法、模式识别和状态估计技术等）。

3.5.11 QoS 保证

在无线传感器网络的研究和应用中，QoS 问题最近才引起人们的关注，特别是基于无线传感器网络的图像、视频和流媒体信息的传输需求的急剧增加，给各无线传感器网络的设计者带来了极大的挑战。无线传感器网络是带宽和能量受限的网络，而多媒体信息对传输延迟、网络吞吐率和带宽等都有较高的要求。对于特定的应用，为了满足用户的需求，必须提供 QoS 保证。

在设计无线传感器网络 QoS 保证机制时，不但要考虑来自用户应用的需求，还要对系统网络的特点和结构做深入的分析。在处理无线传感器网络的 QoS 业务时，还应该注意一下几个方面：网络带宽的限制、消除冗余数据传输、能量和延迟的平衡、节点缓存大小的限制和多业务类型的支持。

当前无线传感器网络 QoS 保证技术研究的目标和挑战主要体现在以下 3 个方面：

- 带宽的有效利用；
- 能量使用的最小化；
- QoS 的支持不仅包括 QoS 保证机制，而且还应当包括 QoS 控制。

3.5.12 相关的硬件技术

自 1971 年卫星计算机问世以来，随着大规模集成电路制造技术的不断发展，微型计算机的发展出现了两个分支：一个是向高速度、高性能的方向发展，如 PC、大型机就是这一发展方向的成果；另一个是向功能有限但稳定可靠且微型廉价的嵌入式方向发展，这就产生了把中央处理器（CPU）、随机存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、定时器/计数器以及各种 IO 控制器电路等主要的计算机部件集成在同一片芯片上的完整的计算机系统。正是后者

的不断发展，为无线传感器网络技术的产生和发展提供了必要的物质基础。

3.6 传感网的应用

传感器的研究始于由美国军方资助的项目，其最早主要用于军事监测中。随着传感器网络技术的普及，传感器网络技术目前不仅应用于军事，而且广泛应用于环境监测和预报、健康护理、智能家居、建筑物状态监控、复杂机械监控、城市交通、智能电网、空间探索、大型车间和仓库管理，以及机场、大型工业园区的安全监测等领域。随着传感网技术的深入研究和广泛应用，传感网技术将逐渐深入到人类生活的各个领域。

3.6.1 军事应用

传感网具有可快速部署、可自组织、隐蔽性强和高容错性的特点，因此非常适合在军事上应用。利用传感网能够实现对敌军兵力和装备的监控、战场的实时监控、目标的定位、战场评估、核攻击和生物化学攻击的监测和搜索等功能。

在战场，指挥员往往需要及时准确地了解部队、武器装备和军用物资供给的情况，铺设的传感器将采集相应的信息，并通过汇聚节点将数据送至指挥所，再转发到指挥部，最后融合来自各个战场的数据形成我军完备的战区态势图。在战争中，对冲突区和军事要地的监视也是至关重要的，通过铺设传感器网络，以更隐蔽的方式近距离地观察敌方的布防；当然，也可以直接将传感器节点撒向敌方阵地，在敌方还未来得及反应时迅速收集利于作战的信息。

通过飞机或炮弹直接将传感器节点播撒到敌方阵地内部，或者在公共隔离带部署传感器网络，就能够非常隐蔽而且近距离准确地收集战场信息，迅速获取有利于作战的信息。传感器网络是由大量的随机分布的节点组成的，即使一部分传感器节点被敌方破坏，剩下的节点依然能够自组织地形成网络。传感器网络可以通过分析采集到的数据，得到十分准确的目标定位，从而为火控和制导系统提供精确的制导。利用生物和化学传感器，利用传感器网络可以准确地探测到生化武器的成分，即时提供情报信息，有利于正确防范和实施有效的反击。传感器网络也可避免核反应部队直接暴露在核辐射的环境中。

Vigil Net 是由美国弗吉尼亚大学研制的用于军事监测的系统，传感器节点在其中扮演了不可替代的作用。传统的派情报员收集信息的方法，不仅具有较高的风险，而且隐蔽性不够高。微型化的传感器节点能克服这些缺陷，具有高隐蔽、低风险的特点，同时降低监测的代价，提高监测的质量。该系统由 XSM、Mica2 和 Mica2Dot 节点构成，其规模最大达 200 个节点。节点通过电池供电，铺设在道路旁边，用于检测与收集移动目标的情况。

在军事领域，传感器网络将会成为 C4ISRT（command，control，communication，computing，intelligence，surveillance，reconnaissance，and targeting）系统不可或缺的一部分。C4ISRT 系统的目标是利用先进的高科技技术，为未来的现代化战争设计一个集命令、控制、通信、计算、智能、监视、侦察和定位于一体的战场指挥系统，受到了军事发达国家的普遍重视。因为传感器网络是由密集型、低成本、随机分布的节点组成的，自组织性和容错能力使其不会因为某些节点在恶意攻击中的损坏而导致整个系统的崩溃，这一点是传统的网络技术所无法比拟的，也正是这一点，使传感器网络非常适合应用于恶劣的战场环境中，包

括监控我军兵力、装备和物资，监视冲突区，侦察敌方地形和布防，定位攻击目标，评估损失，侦察和探测核、生物和化学攻击。

3.6.2 环境科学

随着人们对于环境的日益关注，环境科学所涉及的范围越来越广泛。通过传统方式采集原始数据是一件困难的工作。传感器网络为野外随机性的研究数据获取提供了方便，例如，跟踪候鸟和昆虫的迁移，研究环境变化对农作物的影响，监测海洋、大气和土壤的成分等。

基于传感器网络的ALERT系统中就有数种传感器来监测降雨量、河水水位和土壤水分，并依此预测爆发山洪的可能性。类似地，传感器网络可实现对森林环境监测和火灾报告，传感器节点被随机密布在森林之中，平常状态下定期报告森林环境数据，当发生火灾时，这些传感器节点通过协同合作会在很短的时间内将火源的具体地点、火势的大小等信息传送给相关部门。

传感网还有一个重要应用就是生态多样性的描述，能够进行动物栖息地生态监测。一个较早的用于环境监测的传感网系统是2002年由美国加州大学伯克利分校Intel实验室和大西洋学院联合，在大鸭岛(Great Duck Island)上部署了一个多层次的传感器网络系统。该系统的主要任务是用来持续监测岛上海燕在繁殖季节的习性(如海燕进出燕巢的时间、频率、雄燕和雌燕的分工模式等)，收集相关环境数据供动物学家分析，分析的结果有助于人类有目的地改善海燕的栖息环境，保持岛上的物种和生态平衡。

另一个著名的生物习性监测传感器网络是于2004年部署的Zebra Net网络。该系统部署于肯尼亚中部，通过在斑马身上捆绑GPS传感器采集细纹斑马群位置信息，以实现长期跟踪斑马群的迁徙为目标。为了保证传感器节点捆绑在斑马身上在野外经久耐用，Zebra Net的节点封装进行了有针对性的加固加强。与大鸭岛海燕监测系统不同的是，Zebra Net的传感器节点跟随斑马群的迁徙而不断移动，网络不是一直连通的，而只是在少数时段连通，数据的缓存、延迟传输和网络管理在该系统中是较为突出的挑战。该系统的另一个特点是使用了可充电的太阳能电池，使得传感器节点在无人工充电的野外部署环境中可以长期连续运转。

此外，传感器网络也可以应用在精细农业中，以监测农作物中的害虫、土壤的酸碱度、灌溉状况和施肥状况等，如图3-6-1所示。

3.6.3 医疗健康

传感器网络在医疗系统和健康护理方面的应用包括监测人体的各种生理数据，跟踪和监控医院内医生和患者的行动，医院的药物管理等。

随着人口老龄化的加重，人们需要智能的医疗监控设备，可穿戴的传感器逐渐引起了人们的关注。用可穿戴传感器做医疗监控的研究项目包括弗吉尼亚大学的Alarm Net以及哈佛大学的mercury。哈佛大学研究组改进了传统传感器，使得其外形更小，适合穿戴在身上。借助这种可穿戴的传感器，即使病人足不出户，也可以随时记录自己的健康状况，让医生能够获得更丰富的信息，从而更好地对症下药。病人在肢体的关键部位，如手腕、胳膊肘、膝盖、脚踝等戴上传感器，传感器感知人体的关键数据，并在适合的时机把数据传输到病人家中

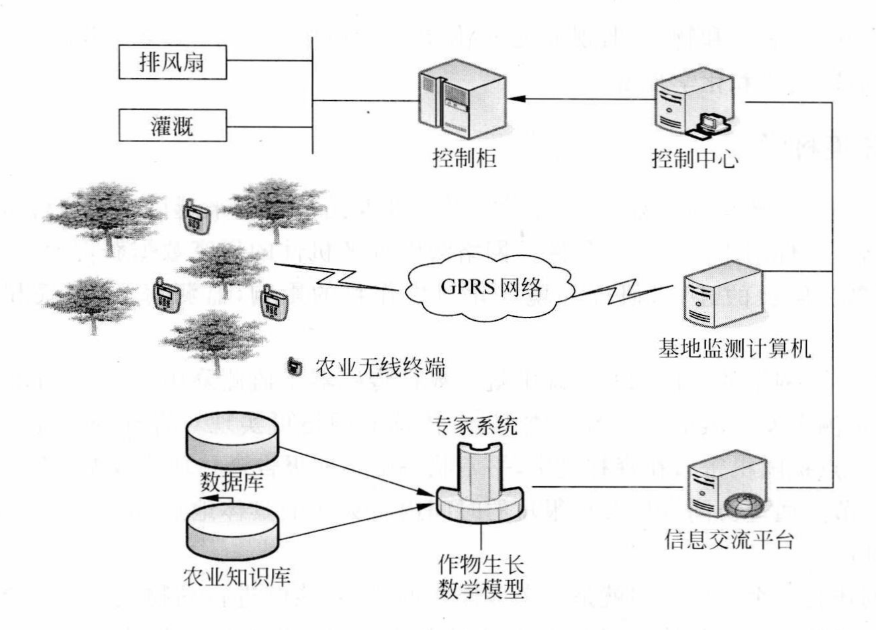


图 3-6-1 精细农业示意图

的基站(如笔记本电脑)上。随后,该数据通过互联网传输到医院或诊所,供医生分析诊断。

如果在住院病人身上安装特殊用途的传感器节点,如心率和血压监测设备,利用传感器网络,医生就可以随时了解被监护病人的病情,进行及时处理,如图 3-6-2 所示。还可以利用传感器网络长时间地收集人的生理数据,这些数据在研制新药品的过程中是非常有用的,而安装在被监测对象身上的微型传感器也不会给人的正常生活带来太多的不便。将传感器节点按药品种类分别放置,计算机系统即可帮助辨认所开的药品,从而减少病人用错药的可能性。

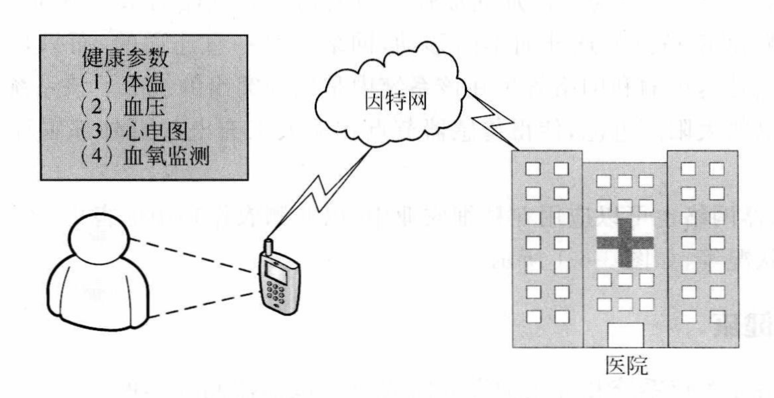


图 3-6-2 人体健康监测示意图

人工视网膜是一项生物医学的应用项目。在 SSIM(smart sensor and integrated microsystem)计划中,替代视网膜的芯片由 100 个微型的传感器组成,并置入人眼,目的是使得失明者或者视力极差者能够恢复到一个可以接受的视力水平。传感器的无线通信满足反馈控制的需要,有利于图像的识别和确认。

一个可以成像的特殊发送器芯片与精巧设计的超低功率无线技术相结合,就可以实现一个可用于胃肠道诊断的微型吞服摄像胶囊。患者吞下维 C 片大小的成像胶囊后,胶囊经

过食道、胃和小肠时就可将图像显示出来。胶囊通常由摄像机、LED、电池、特制芯片和天线组成。

总之，传感器网络为未来的远程医疗提供了更加方便、快捷的技术实现手段。

3.6.4 智能家居

智能家居是以住宅为平台，兼备建筑、网络通信、信息家电、设备自动化，集系统、结构、服务、管理为一体的高效、舒适、安全、便利、环保的居住环境。智能家居可以定义为一个过程或者一个系统。利用先进的计算机技术、网络通信技术、综合布线技术，将与家居生活有关的各种子系统，有机地结合在一起，通过统筹管理，让家居生活更加舒适、安全、有效。与普通家居相比，智能家居不仅具有传统的居住功能，提供舒适安全、高品位且宜人的家庭生活空间；还由原来的被动静止结构转变为具有能动智慧的工具，提供全方位的信息交换功能，帮助家庭与外部保持信息交流畅通，优化人们的生活方式，帮助人们有效安排时间，增加家居生活的安全性，甚至为各种能源费用节约资金。

传感器网络能够应用在家居中。嵌入家具和家电中的传感器与执行机构组成的无线网络，与 Internet 连接在一起将会为我们提供更加舒适、方便和具有人性化的智能家居环境。利用远程监控系统，可完成对家电的远程遥控。例如可以在回家之前半小时打开空调，这样回家的时候就可以直接享受适合的室温，也可以遥控电饭锅、微波炉、电冰箱、电话机、电视机、录像机、计算机等家电，按照自己的意愿完成相应的煮饭、烧菜、查收电话留言、选择录制电视和电台节目以及下载网上资料到计算机中等工作，也可以通过图像传感设备随时监控家庭安全情况，如图 3-6-3 所示。

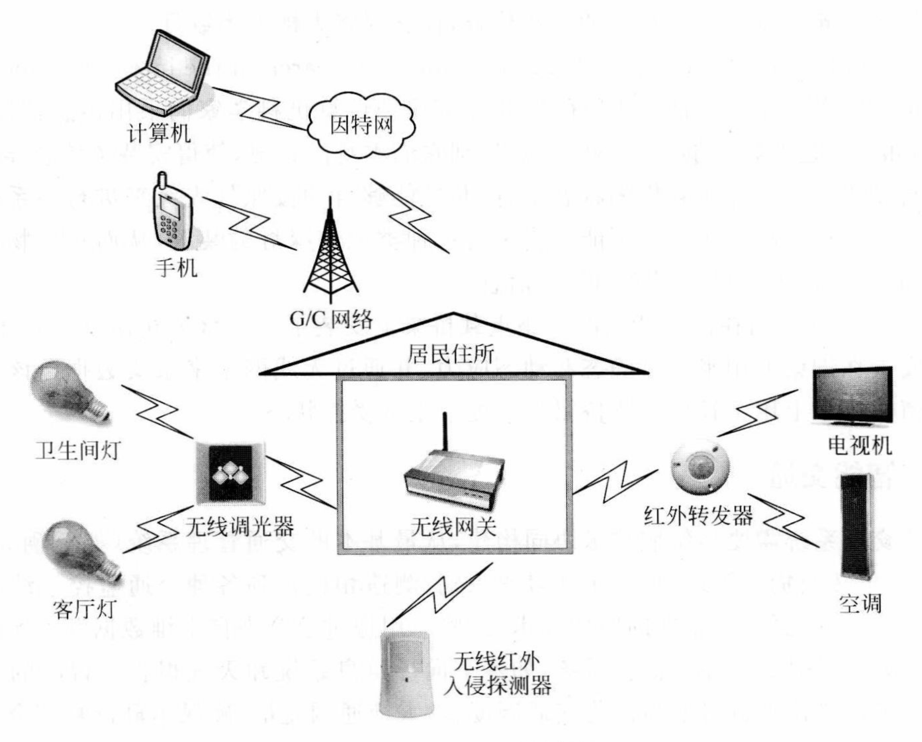


图 3-6-3 智能家居示意图

智能家居系统一般利用无线射频技术来实现。这种技术是一种近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的无线通信技术。这种技术的优点是部分产品无须重新布线，利用点对点的射频技术，实现对家电和灯光的控制，成本适中。这类系统功能比较弱，控制方式比较单一，且易受周围无线设备环境特别是同频及阻碍物干扰和屏蔽；较适用于新装修户和已装修户。无线网络技术在没有布线的情况下也可以搭建家庭局域网。而无线射频技术也就是通过高频的无线频率点对点传输，实现灯光、窗帘、家电等的遥控功能。这类技术对于已经装修好了的用户非常适用，无须预先布线，不会破坏原有家居的美观。使用基于无线射频技术的产品，就可以将家里所有的电器串成一个网络，这里称它为智能家居无线网络，在这个网络中，可以随意遥控指挥电器。

智能家居无线网络主要包括了一个家庭网关以及若干个无线通信子节点。在家庭网关上有一个无线发射模块，每个子节点上都接有一个无线网络接收模块，通过这些无线网络收发模块，数据就在网关和子节点之间进行传送。

利用传感器网络可以建立智能幼儿园，监测孩童的早期教育环境，跟踪孩童的活动轨迹，可以让父母和老师全面地研究学生的学习过程，回答一些诸如："学生 A 是否总是呆在某个学习区域内?""学生 B 是否常常独处?"等问题。

3.6.5 建筑物状态监控

建筑物状态监控(structure health monitoring，SHM)是利用传感器网络来监控建筑物的安全状态。由于建筑物不断修补，可能会存在一些安全隐患。虽然地壳偶尔的小震动可能不会带来看得见的损坏，但是也许会在支柱上产生潜在的裂缝，这个裂缝可能会在下一次地震中导致建筑物倒塌。用传统的方法检查，往往要将大楼关闭数月。

作为 CITRIS(center of information technology research in the interest of society)计划的一部分，美国加州大学伯克利分校的环境工程和计算机科学家们采用传感器网络，让大楼、桥梁和其他建筑物能够自身感觉并意识到它们本身的状况，使得安装了传感器网络的智能建筑自动告诉管理部门它们的状态信息，并且能够自动按照优先级来进行一系列自我修复工作。未来的各种摩天大楼可能就会装备这种类似红绿灯的装置，从而建筑物可自动告诉人们当前是否安全、稳固程度如何等信息。

Microstrain 公司在佛蒙特州的一座重载桥梁上安装了一套该公司研制的系统，将位移传感器安装在钢梁上用来测量静态和动态应力，并通过无线网络来采集数据。该无线系统可以保留在桥梁上用于长期监测桥梁是否处于正常受控状态。

3.6.6 智能交通

智能交通系统需要多领域技术协同构建，从最基本的交通管理系统(如车辆导航、交通信号控制、集装箱货运管理、自动车牌号码识别、测速相机)，到各种交通监控系统如安全闭路电视系统，再到更具前瞻性的应用技术，这些应用通过整合来自多维数据源的实时数据及反馈信息为人民提供泛在的信息服务，如停车向导信息系统和天气报告。智能的交通系统建模和流量预测技术也将成为优化交通调度、增大交通网流量、确保车辆行驶安全和改善人们出行体验的重要支撑。

传感网技术的发展为智能交通提供了更透彻的感知，道路基础设施中的传感器和车载

传感设备能够实时监测交通流量和车辆状态信息，监测数据通过泛在移动通信网络将信息传送至管理中心；传感网技术为智能交通提供了更全面的互联互通：遍布于道路基础设施和车辆中的无线和有线通信技术的有机整合为移动用户提供了泛在的网络服务，使人们在旅途中能够随时获得实时的道路和周边环境咨询，甚至在线收看电视节目；传感网技术为智能交通提供了更深入的智能化，通过智能的交通管理和调度机制充分发挥道路基础设施的效能，最大化交通网络流量并提高安全性，优化人们的出行体验。展望一下未来的交通，所有的车辆都能够预先知道并避开交通堵塞，沿最快捷的路线到达目的地，减少二氧化碳的排放，拥有实时的交通和天气信息，能够随时找到最近的停车位，甚至在大部分的时间内车辆可以自动驾驶而乘客们可以在旅途中欣赏在线电视节目。

现有的城市交通管理基本是自发进行的，每个驾驶者根据自己的判断选择行车路线，交通信号标志仅仅起到静态的、有限的指导作用。这导致城市道路资源未能得到最高效率的运用，由此产生不必要的交通拥堵甚至瘫痪。据统计，目前我国交通拥堵造成的损失占GDP的1.5%～4%。美国每年因交通堵塞损失相当于装载58个超大型油轮装载的燃料，每年的损失高达780亿美元。

电子收费(electronic toll collection，ETC)系统能够在车辆以正常速度驶过收费站的时候自动收取费用，降低了收费站附近产生交通拥堵的概率。最初电子收费系统用于自动收费，但最近这项技术也被用来加强城市中心区域的高峰期拥堵收费。之前大部分的电子收费系统都是基于使用私有通信协议的车载无线通信设备，当车辆穿过车道上的龙门架时自动对其进行识别。

城市车辆监测和跟踪系统中成功地应用了传感器网络，如图3-6-4所示。

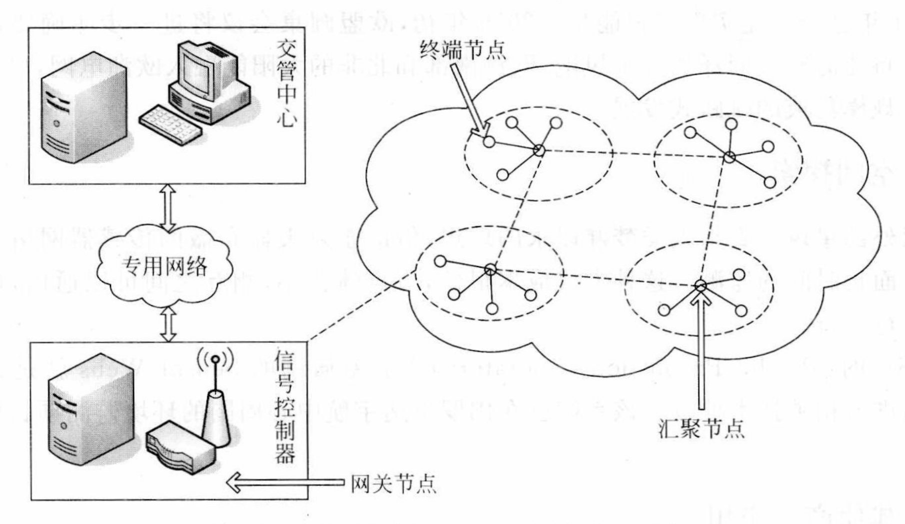


图3-6-4 传感网在智能交通系统的应用示意图

3.6.7 智能电网

现有的电力输送网络缺少动态调度，从而导致电力输送效率低下。据美国能源部的统计，使用传统电网，大量上网电力被消耗在输送途中。而智能电网通过先进信息系统与电网的整合，把过去静态、低效的电力输送网络转变为动态可调整的智能网络，对能源系统进行

实时监测，根据不同时段的用电需求，将电力按最优方案予以分配。

电力监控方面，因为电能一旦送出就无法保存，所以电力管理部门一般都会要求下级部门每月层层上报地区用电要求，并根据需求配送。但是使用人工报表的方式根本无法准确统计这项数据，国内有些地方供电局就常常因为数据误差太大而遭上级部门的罚款。如果使用智能微尘来监控每个用电点的用电情况，这种问题就将迎刃而解。加州大学伯克利分校的研究员称，如果美国加州将这种产品应用于电力使用状况监控，电力调控中心每年将可以节省 7 亿～8 亿美元。

传感网技术可以将供电方、输配管理方以及电力用户有效的联结在一起，并通过互联网技术，实现电网系统中个参与者间的信息交换与共享，使分布式电网系统成为可能。

传感网技术还可以进一步将收集到的各类数据进行整合，打破传统物理世界和信息系统的技术限制，将数据变成有用的信息，并利用传感网体系的大型计算能力对能源的使用以及用电方案进行整体部署和设计优化，从而实现整个电网系统的电能最优化配置，提高电能利用效率，实现节能减排的目标。

基于传感网技术而建设的智能电网体系，可以实现从能源接入、输配电调度、安全监控、继电保护到用户计费计量的全过程智能化网络化控制。它可以综合利用各种智能设备来获取电网和用户的需要，智能化控制能源的存储和使用，并可以实现电网和用户之间、用户和用户之间的能源传递，优化电网的运行和管理，并通过用户终端设备的智能化反馈，帮助用户制定定制化的电能利用方案，提高能源利用效率，帮助用户降低电费，使人们可以更加精细和动态的管理电力系统的运行。

目前，英国、法国、意大利等国家都在加快推动智能电网的应用和变革，意大利的局部电网在 2001 年已经率先实现了智能化。2009 年初，欧盟圆桌会议将进一步明确要依靠智能电网技术将北海和大西洋的海上风电、欧洲南部和北非的太阳能融入欧洲电网，以实现可再生能源大规模集成的跳跃式发展。

3.6.8 空间探索

探索外部星球一直是人类梦寐以求的理想，借助于航天器布撒的传感器网络节点实现对星球表面长时间的监测。这种方式成本很低，节点体积小，相互之间可以通信，也可以和地面站进行通行。

NASA 的 JPL(Jet Propulsion Laboratory)实验室研制的 Sensor Webs 就是为将来的火星探测进行相关技术准备。该系统已在佛罗里达宇航中心周围的环境监测项目中进行测试和完善。

3.6.9 其他商业应用

自组织、微型化和对外部世界的感知能力是传感器网络的三大特点，这些特点决定了传感器网络在商业领域应该也会有不少的机会。

复杂机械的维护经历了“无维护”、“定时维护”以及“基于情况维护”三个阶段。采用“基于情况维护”方式能够优化机械的使用，保持过程更加有效，并且保证制造成本仍然低廉。其维护开销分为几个部分：设备开销、安装开销和人工收集分析机械状态数据的开销。采用无线传感器网络能够降低这些开销，特别是能够去掉人工开销。尤其是目前数据处理硬

件技术的飞速发展和无线收发硬件的发展,新的技术已经成熟,可以使用无线技术避免昂贵的线缆连接,采用专家系统自动实现数据的采集和分析。

2003年《计算机世界》第8期为《智能微尘：魔鬼还是天使?》的文章指出：智能微尘能带来的用途是显而易见的。就以我国西气东输以及输油管道的建设为例,由于这些管道在很多地方都要穿越大片荒无人烟的地区,这些地方的管道监控一直都是一道难题,传统的人力巡查几乎是不可能的事,而现有的监控产品,往往复杂且昂贵。智能微尘的成熟产品布置在管道上将可以实时地监控管道的情况。一旦有破损或恶意破坏都能在控制中心实时了解到。如果智能微尘成熟,仅西气东输这样的一个工程就可能节省上亿元的资金。

德国某研究机构正在利用传感器网络技术为足球裁判研制一套辅助系统,以减小足球比赛中越位和进球的误判率。此外,在灾难拯救、仓库管理、交互式博物馆、交互式玩具、工厂自动化生产线等众多领域,无线传感器网络都将会孕育出全新的设计和应用模式。

3.7 物联网中传感网

物联网理念的出现首先归功于物流系统的现代化需要。现代物流系统希望利用信息生成设备,如无线射频识别(RFID)、传感器,以及全球定位系统等种种装置与互联网结合起来而形成一个巨大的网络。类似于条形码这种自动识别技术(Auto-ID),就是物联网的最初应用。除了物流领域,物联网还可以广泛应用于道路、交通、医疗、能源、家用电器监控等各个领域。物联网的发展要求将新一代信息化技术充分运用在各行各业之中,具体就是把诸如感应器、RFID标签等信息化设备嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道、商品、货物等各种物理物体和基础设施中,甚至人体内,将它们普遍互联,并与互联网连接起来,形成“物联”。但是物联网不仅仅局限于物流领域,它有着更广泛的含义：一方面是物理世界的联网需求,另一方面是信息世界的扩展需求。

物联网是指在物理世界的实体中部署具有一定感知能力、计算能力或执行能力的各种信息传感设备,通过网络设施实现信息传输、协同和处理,从而实现广域或大范围的人与物、物与物之间信息交换需求的互联。物联网包括各种末端网、通信网络和应用3个层次,其中末端网包括各种实现与物互联的技术,如传感器网络、RFID、二维码、短距离无线通信技术、移动通信模块等。传感器网络是物联网末端采用的关键技术之一。

从架构上来说,物联网由感知层、网络层、应用层三部分组成。感知层由传感器和传感器网络组成,通过感知识别技术,让物品“开口说话、发布信息”,是融合物理世界和信息世界的重要一环,是物联网区别于其他网络的最独特的部分。物联网的“触手”是位于感知识别层的大量信息生成设备,包括RFID、传感网、定位系统等,也包括采用人工生成方式的各种智能设备,例如智能手机、个人数字助理、多媒体播放器、上网本、笔记本电脑等。信息生成方式的多样化是物联网的重要特征之一。感知识别层位于物联网四层模型的最低端,是所有上层结构的基础。在《物联网导论》一书中,有专家认为传感网所感知的数据是物联网海量信息的重要来源之一。例如说有多个温度传感器组成、通过巡检方式工作的温控网,再例如具有多种声、光、电、机械甚至图像探测能力的安防网等。可见,传感网技术为物联网技术中的智能感知、数据获取提供了支撑。

感知识别是物联网的核心技术,是联系物理世界和信息世界的纽带。感知识别层既包

括射频识别(RFID)、无线传感器等信息自动生成设备,也包括各种智能电子产品用来人工生成信息。RFID是能够让物品"开口说话"的技术:RFID标签中存储着规范而具有互用性的信息,通过无线数据通信网把它们自动采集到中央信息系统,实现物品的识别和管理。另外,作为一种新兴技术,无线传感器网络主要通过各种类型的传感器对物质性质、环境状态、行为模式等信息开展大规模、长期、实时的获取。近些年来,各类可联网电子产品层出不穷,智能手机、个人数字助理(PDA)、多媒体播放器(MP4)、上网本、笔记本电脑等迅速普及,人们可以随时随地连入互联网,分享信息。信息生成方式多样化是物联网区别于其他网络的重要特征。

传感器网络(也称传感网)是利用各种传感器(光、电、温度、湿度、压力等)加上中低速的近距离无线通信技术构成一个独立的网络,是由多个具有有线或无线通信与计算能力的低功耗、小体积的微小传感器节点构成的网络系统,它一般提供局域或小范围物与物之间的信息交换功能。

总之,传感网技术是物联网技术的重要组成部分,为物联网技术中的智能感知、数据获取提供了技术支撑。

3.8 本章小结

本章系统地介绍了传感器的概念、特性、工作原理以及分类,在此基础上讨论了物联网中的传感器、物联网对传感器的特性要求以及传感技术的发展,进一步讨论了传感网的基本原理和技术以及传感网在环境监测、智能家居、军事和医疗等方面的应用。

传感器可以获取自然界和生产领域中信息,坚实和控制生产过程中的各个参数,是设备能工作在正常状态或最佳状态,并使产品达到最好的质量。

传感器已经广泛应用于工业生产、农业生产、环境保护、医学诊断、空间探测等领域,几乎每一个现代化项目都离不开各种各样的传感器。

传感器、感知对象和观察者构成无线传感器网络。如果说互联网改变人与人之间的沟通方式,那么无线传感器网络将改变人类与自然界的交互方式。人们可以通过无线传感网络直接感知客观世界,扩展现有网络的功能和人类认识世界的能力。

传感器的广泛应用必然会带来无线传感器网络的广泛应用,并且随着传感器网络的深入研究和广泛应用,传感器网络将会深入人类生活的各个领域。

习 题

1. 传感器的定义是什么?
2. 传感器的主要特性有哪些?
3. 传感器的动态特性、基本概念及主要性能指标的含义是什么?
4. 传感器如何分类?
5. 传感器节点由哪些部分组成?
6. 霍尔位置传感器的定义、原理和位置关系?
7. 什么是智能传感器?物联网环境对智能传感器有何要求?

8. 利用液面传感器进行液面高度测量时，容器的高度为60m，超声波的传播速度为340m/s，经过0.2s后，收到超声波，求液面的高度？

9. 电容式湿度传感器的工作原理是什么？有什么特点？使用时应注意什么问题？

10. 物联网对传感器的特性要求？

11. 传感器接口特点是什么？传感器的输出信号有什么特点？

12. 传感器与微型计算机接口的一般结构是什么？输入通道和输出通道的特点是什么？

13. 简述传感网协议结构功能。

14. 在传感器网络中，为什么要对网络进行拓扑结构控制与优化。

15. 什么是洪泛协议？

16. 无线传感器网络为什么要使用时间同步机制，时间同步机制的主要性能参数包括哪些？

17. 无线传感器网络的定位技术具有哪些特征？

18. 无线传感器网络的安全研究要解决哪些问题？

19. 无线传感器网络的路由协议有哪些？

20. 传感网技术在物联网的位置和作用？

第4章

其他感知方式

随着技术的发展，各类物联网的产品应运而生，人类感知自然界和自然界感知人类的能力也得到了大大的提高，感知方式也发生了很大的变化，从单一的RFID射频卡和传感器发展到个人计算机、3G智能手机、PDA、摄像头和数字电视与卫星电视等，在真正意义上实现了智能物联网。

4.1 个人计算机

计算机技术发展的方向是向应用的深度与信息处理智能化的方法发展的。互联网的信息浩若瀚海，怎样在海量信息中自动搜索出我们所需要的信息，这是网络环境的智能搜索技术目前研究的热点课题。未来的计算机应该是朝着能够看懂人的手势、听懂人类的语言方向发展，使计算机越来越智能化。目前，计算机的发展正在向智能化发展，部分智能功能以及实现，比如简单的语音身份识别、瞳孔识别、指纹识别等。

4.1.1 PC感知方式

我们生活的现实世界是一个真实的物理世界，每个人都拥有独一无二的物理身份。如今我们也生活在数字世界中，一切信息都是由一组特定的数据表示，当然也包括用户的身份信息。如果没有有效的身份认证管理手段，访问者的身份就很容易被伪造，使得任何安全防范体系都形同虚设。因此，在计算机和互联网络世界里，身份认证是一个最基本的要素，也是整个信息安全体系的基础。身份认证是证实客户的真实身份与其所声称的身份是否相符的验证过程。目前，计算机及网络系统中常用的身份认证技术主要有以下几种。

1. 用户名/密码方式

用户名/密码是最简单也是最常用的身份认证方法，是基于“what you know”的验证手段。每个用户的密码是由用户自己设定的，只有用户自己才知道。只要能够正确输入密码，计算机就认为操作者就是合法用户。实际上，由于许多用户为了防止忘记密码，经常采用诸如生日、电话号码等容易被猜测的字符串作为密码，或者把密码抄在纸上放在一个自认为安全的地方，这样很容易造成密码泄露。即使能保证用户密码不被泄露，由于密码是静态的数据，在验证过程中需要在计算机内存中和网络中传输，而每次验证使用的验证信息都是相同的，很容易被驻留在计算机内存中的木马程序或网络中的监听设备截获。因此，从安全性上讲，用户名/密码方式一种是极不安全的身份认证方式。

2. 智能卡认证

智能卡是一种内置集成电路的芯片，芯片中存有与用户身份相关的数据，智能卡由专门的厂商通过专门的设备生产，是不可复制的硬件。智能卡由合法用户随身携带，登录时必须将智能卡插入专用的读卡器读取其中的信息以验证用户的身份。智能卡认证是基于"what you have"的手段，通过智能卡硬件不可复制来保证用户身份不会被仿冒。然而由于每次从智能卡中读取的数据是静态的，通过内存扫描或网络监听等技术还是很容易截取到用户的身份验证信息，因此还是存在安全隐患。

3. 动态口令

动态口令技术是一种让用户密码按照时间或使用次数不断变化、每个密码只能使用一次的技术。它采用一种叫做动态令牌的专用硬件，内置电源、密码生成芯片和显示屏，密码生成芯片运行专门的密码算法，根据当前时间或使用次数生成当前密码并显示在显示屏上。认证服务器采用相同的算法计算当前的有效密码。用户使用时只需要将动态令牌上显示的当前密码输入客户端计算机，即可实现身份认证。动态口令技术采用一次一密的方法，有效保证了用户身份的安全性。但是如果客户端与服务器端的时间或次数不能保持良好的同步，就可能发生合法用户无法登录的问题。并且用户每次登录时需要通过键盘输入一长串无规律的密码一旦输错就要重新操作，使用起来非常不方便。

4. USB Key 认证

基于 USB Key 的身份认证方式是近几年发展起来的一种方便、安全的身份认证技术。它采用软硬件相结合、一次一密的强双因子认证模式，很好地解决了安全性与易用性之间的矛盾。USB Key 是一种 USB 接口的硬件设备，它内置单片机或智能卡芯片，可以存储用户的密钥或数字证书，利用 USB Key 内置的密码算法实现对用户身份的认证。基于 USB Key 身份认证系统主要有两种应用模式：一是基于冲击/响应的认证模式，二是基于 PKI 体系的认证模式。

计算机的广泛应用，使信息获取、处理、存储手段发生巨大变化，同时也存在新的问题，如存储于计算机的敏感信息因安防措施不力被盗案件时有发生，不但造成巨大经济损失，甚至危及国家安全。目前，用户身份识别主要方法有：基于所有，如各种证件，不需要密码就能使用，易丢失、伪造，识别可靠性较低；基于所知，如静态口令，用户登录系统或使用某项功能时，需输入自己的用户名与口令，系统即进行身份识别，它方便、简洁，但易泄密、易破译。

4.1.2 发展前景

在身份识别领域，生物化、数字化、网络化已成必然趋势。生物识别技术主要依靠人体特征进行身份认证，其发展深度、广度都很迅猛，可广泛应用于防范要求高、具有一定价值的场所。随着计算机应用领域不断扩大，用户对其安全性能的要求也越来越高。由于生物别技术在提供安全保障方面有着无与伦比的优势，利用人体生物特征建立的识别系统，能实时识别用户身份，解决信息安全防范问题，在诸多领域有难以估量的发展潜力。生物识别技术蕴涵的无限商机亦已吸引业界众多巨头关注，IBM、微软等纷纷推出结合生物识别技术开发的身份认证设备和软件。国内，南京熊猫公司推出的新型指纹安全计算机就是采用生物识别技术，在键盘、鼠标上集成指纹读取器，通过相应处理确认用户身份。可以相信，随着技术发展，将不断推出功能更完备、性能更优异、安全性更高的产品，满足人们日益提高的要求。

4.2 3G 手机

3G 手机是基于移动互联网技术的终端设备，3G 手机完全是通信业和计算机工业相融合的产物，和此前的手机相比差别实在是太大了，因此越来越多的人开始称呼这类新的移动通信产品为“个人通信终端”。即使是对通信业最外行的人也可从外形上轻易地判断出一部手机是否是“第三代”：第三代手机都有一个超大的彩色显示屏，往往还是触摸式的。3G 手机除了能完成高质量的日常通信外，还能进行多媒体通信。用户可以在 3G 手机的触摸显示屏上直接写字、绘图，并将其传送给另一部手机，而所需时间可能不到一秒。当然，也可以将这些信息传送给一台计算机，或从计算机中下载某些信息；用户可以用 3G 手机直接上网，查看电子邮件或浏览网页；将有不少型号的 3G 手机自带摄像头，这将使用户可以利用手机进行计算机会议，甚至使数字相机成为一种“多余”。3G 通信是移动通信市场经历了第一代模拟技术的移动通信业务的引入，在第二代数字移动通信市场的蓬勃发展中被引入日程的。在当今 Internet 数据业务不断升温中，在固定接入速率（HDSL、ADSL、VDSL）不断提升的背景下，3G 移动通信系统也看到了市场的曙光，益发为电信运营商、通信设备制造商和普通用户所关注。

4.2.1 3G 标准

现有的 3G 标准有 WCDMA（欧洲版）、CDMA2000（美国版）和 TD-SCDMA（中国版）。

国际电信联盟（ITU）在 2000 年 5 月确定 WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA 三大主流无线接口标准，写入 3G 技术指导性文件《2000 年国际移动通信计划》（简称 IMT—2000）；2007 年，WiMAX 亦被接受为 3G 标准之一。CDMA 是 code division multiple access（码分多址）的缩写，是第三代移动通信系统的技术基础。第一代移动通信系统采用频分多址（FDMA）的模拟调制方式，这种系统的主要缺点是频谱利用率低，信令干扰话音业务。第二代移动通信系统主要采用时分多址（TDMA）的数字调制方式，提高了系统容量，并采用独立信道传送信令，使系统性能大大改善，但 TDMA 的系统容量仍然有限，越区切换性能仍不完善。CDMA 系统以其频率规划简单、系统容量大、频率复用系数高、抗多径能力强、通信质量好、软容量、软切换等特点显示出巨大的发展潜力。下面分别介绍一下 3G 的几种标准：

（1）WCDMA

全称为 wideband CDMA，也称为 CDMA direct spread，意为宽频分码多重存取，这是基于 GSM 网发展出来的 3G 技术规范，是欧洲提出的宽带 CDMA 技术，它与日本提出的宽带 CDMA 技术基本相同，目前正在进一步融合。WCDMA 的支持者主要是以 GSM 系统为主的欧洲厂商，日本公司也或多或少参与其中，包括欧美的爱立信、阿尔卡特、诺基亚、朗讯、北电以及日本的 NTT、富士通、夏普等厂商。该标准提出了 GSM（2G）-GPRS-EDGE-WCDMA（3G）的演进策略。这套系统能够架设在现有的 GSM 网络上，对于系统提供商而言可以较轻易地过渡。预计在 GSM 系统相当普及的亚洲，对这套新技术的接受度会相当高。因此 W-CDMA 具有先天的市场优势。

（2）CDMA2000

CDMA2000 是由窄带 CDMA（CDMA IS95）技术发展而来的宽带 CDMA 技术，也称为

CDMA multi-carrier,它是由美国高通北美公司为主导提出,摩托罗拉、Lucent 和后来加入的韩国三星都有参与,韩国现在成为该标准的主导者。这套系统是从窄频 CDMA One 数字标准衍生出来的,可以从原有的 CDMA One 结构直接升级到 3G,建设成本低廉。但目前使用 CDMA 的地区只有日、韩和北美,所以 CDMA2000 的支持者不如 W-CDMA 多。不过 CDMA2000 的研发技术却是目前各标准中进度最快的。该标准提出了从 CDMA IS95(2G)-CDMA2001x-CDMA2003x(3G)的演进策略。CDMA2001x 被称为 2.5 代移动通信技术。CDMA2003x 与 CDMA2001x 的主要区别在于应用了多路载波技术,通过采用三载波使带宽提高。目前中国电信正在采用这一方案向 3G 过渡,并已建成了 CDMA IS95 网络。

(3) TD-SCDMA

全称为时分同步 CDMA(time division-synchronous,TD-S CDMA),该标准是由中国大陆独自制定的 3G 标准,1999 年 6 月 29 日,中国原邮电部电信科学技术研究院(大唐电信)向 ITU 提出,但技术发明始于西门子公司,TD-SCDMA 具有辐射低的特点,被誉为绿色 3G。该标准将智能无线、同步 CDMA 和软件无线电等当今国际领先技术融于其中,在频谱利用率、对业务支持具有灵活性、频率灵活性及成本等方面的独特优势。另外,由于中国内地庞大的市场,该标准受到各大主要电信设备厂商的重视,全球一半以上的设备厂商都宣布可以支持 TD-SCDMA 标准。该标准提出不经过 2.5 代的中间环节,直接向 3G 过渡,非常适用于 GSM 系统向 3G 升级。军用通信网也是 TD-SCDMA 的核心任务。

(4) WiMAX

WiMAX 的全名是微波存取全球互通(worldwide interoperability for microwave access),又称为 802.16 无线城域网,是又一种为企业和家庭用户提供"最后一英里"的宽带无线连接方案。将此技术与需要授权或免授权的微波设备相结合之后,由于成本较低,将扩大宽带无线市场,改善企业与服务供应商的认知度。2007 年 10 月 19 日,在国际电信联盟在日内瓦举行的无线通信全体会议上,经过多数国家投票通过,WiMAX 正式被批准成为继 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 之后的第四个全球 3G 标准。

4.2.2 发展历程

1995 年问世的第一代数字手机只能进行语音通话;而 1996 到 1997 年出现的第二代数字手机便增加了接收数据的功能,如接受电子邮件或网页;第三代与前两代的主要区别是在传输声音和数据的速度上的提升,它能够处理图像、音乐、视频流等多种媒体形式,提供包括网页浏览、电话会议、电子商务等多种信息服务。相对第一代模拟制式手机(1G)和第二代 GSM、TDMA 等数字手机(2G),3G 通信的名称繁多,国际电联规定为"IMT-2000"(国际移动电话 2000)标准,欧洲的电信业巨头们则称其为"UMTS"通用移动通信系统。该标准规定,移动终端以车速移动时,其传转数据速率为 144kbps,室外静止或步行时速率为 384kbps,而室内为 2Mbps。但这些要求并不意味着用户可用速率就可以达到 2Mbps,因为室内速率还将依赖于建筑物内详细的频率规划以及组织与运营商协作的紧密程度。

国际电信联盟(ITU)确定 3G 通信的三大主流无线接口标准分别是 W-CDMA(宽频分码多重存取)、CDMA2000(多载波分复用扩频调制)和 TDS-CDMA(时分同步码分多址接入)。其中 W-CDMA 标准主要起源于欧洲和日本的早期第三代无线研究活动,该系统在现

有的GSM网络上进行使用，对于系统提供商而言可以较轻易地过渡，该标准的主要支持者有欧洲、日本、韩国。CDMA2000系统主要是由美国高通北美公司为主导提出的，它的建设成本相对比较低廉，主要支持者包括日本、韩国和北美等地区和国家。TD-SCDMA标准是由中国第一次提出并在此无线传输技术（RTT）的基础上与国际合作，完成了TD-SCDMA标准，成为CDMA TDD标准的一员的，这是中国移动通信界的一次创举，也是中国对第三代移动通信发展的贡献。在与欧洲、美国各自提出的3G标准的竞争中，中国提出的TD-SCDMA已正式成为全球3G标准之一，这标志着中国在移动通信领域已经进入世界领先之列。

4.2.3 3G感知应用

1. 宽带上网

宽带上网是3G手机的一项很重要的功能，届时我们能在手机上收发语音邮件、写博客、聊天、搜索、下载图铃等。现在不少人以为这些在手机上的功能应用要等到3G时代，但其实目前的无线互联网门户也已经可以提供，尽管目前的GPRS网络速度还不能让人非常满意，但3G时代来了，手机变成小计算机就再也不是梦想了。

2. 手机办公、手机执法和手机商务

随着带宽的增加，手机办公越来越受到青睐。手机办公使得办公人员可以随时随地与单位的信息系统保持联系，完成办公功能。这包括移动办公、移动执法、移动商务等。与传统的OA系统相比，手机办公摆脱了传统OA局限于局域网的桎梏，办公人员可以随时随地访问政府和企业的数据库，进行实时办公和处理业务，极大地提高了办公和执法的效率。

3. 视频通话

3G时代，传统的语音通话已经是个很弱的功能了，视频通话和语音信箱等新业务才是主流，传统的语音通话资费会降低，而视觉冲击力强，快速直接的视频通话会更加普及和飞速发展。3G时代被谈论得最多的是手机的视频通话功能，这也是在国外最为流行的3G服务之一。相信不少人都用过QQ、MSN或Skype的视频聊天功能，与远方的亲人、朋友“面对面”地聊天。今后，依靠3G网络的高速数据传输，3G手机用户也可以“面谈”了。当用户使用3G手机拨打视频电话时，不再是把手机放在耳边，而是面对手机，再戴上有线耳麦或蓝牙耳麦，用户会在手机屏幕上看到对方影像，而用户自己也会被录制下来并传送给对方。

4. 手机电视

从运营商层面来说，3G牌照的发放解决了一个很大的技术障碍，TD和CMMB等标准的建设也推动了整个行业的发展。手机流媒体软件会成为3G时代最多使用的手机电视软件，在视频影像的流畅和画面质量上不断提升，突破技术瓶颈，真正大规模被应用。

5. 无线搜索

对用户来说，这是比较实用型的移动网络服务，也能让人快速接受。随时随地用手机搜索将会变成更多手机用户一种平常的生活习惯。

6. 手机音乐

在无线互联网发展成熟的日本，手机音乐是最为亮丽的一道风景线，通过手机上网下载音乐是计算机的50倍。3G时代，只要在手机上安装一款手机音乐软件，就能通过手机网

络，随时随地让手机变身音乐魔盒，轻松收纳无数首歌曲，下载速度更快，耗费流量几乎可以忽略不计。

7. 手机办公

随着带宽的增加，手机办公越来越受到青睐。手机办公使得办公人员可以随时随地与单位的信息系统保持联系，完成办公功能。这包括移动办公、移动执法、移动商务等。极大地提高了办事和执法的效率。

8. 手机购物

不少人都有在淘宝上购物的经历，但手机商城对不少人来说还是个新鲜事。事实上，移动电子商务是3G时代手机上网用户的最爱。目前90%的日本韩国手机用户都已经习惯在手机上消费，甚至是购买大米、洗衣粉这样的日常生活用品。专家预计，中国未来手机购物会有一个高速增长期，用户只要开通手机上网服务，就可以通过手机查询商品信息，并在线支付购买产品。高速3G可以让手机购物变得更实在，高质量的图片与视频会话能使商家与消费者的距离拉近，提高购物体验，让手机购物变为新潮流。

9. 手机网游

与计算机的网游相比，手机网游的体验并不好，但方便携带，随时可以玩，这种利用了零碎时间的网游是目前年轻人的新宠，也是3G时代的一个重要资本增长点。3G时代到来之后，游戏平台会更加稳定和快速，兼容性更高，即"更好玩了"，像是升级的版本一样，让用户在游戏的视觉和效果方面感觉更有体验。

距离国务院常务会议研究同意启动3G牌照仅一周，工业与信息化部就迅速向三大运营商发放了3G牌照。工业和信息化部宣布，批准中国移动通信集团公司增加基于TD-SCDMA技术制式的3G业务经营许可，中国电信集团公司增加基于CDMA2000技术制式的3G业务经营许可，中国联合网络通信集团公司增加基于WCDMA技术制式的3G业务经营许可。对于运营商来说，3G牌照发放意味着新一轮市场角逐的开始；对于设备商来说，这意味着3年至少2800亿元的投资大蛋糕摆在了面前；而对于用户来说，3G意味着手机上网带宽飙升，资费越降越低。

4.2.4 手机二维码

手机二维码是二维码技术在手机上的应用。二维码是用特定的几何图形按一定规律在平面（二维方向上）分布的黑白相间的矩形方阵记录数据符号信息的新一代条码技术，由一个二维码矩阵图形和一个二维码号，以及下方的说明文字组成，具有信息量大，纠错能力强，识读速度快、全方位识读等特点。将手机需要访问、使用的信息编码到二维码中，利用手机的摄像头识读，这就是手机二维码。

手机二维码的应用有两种：主读与被读。所谓主读，就是使用者主动读取二维码，一般指手机安装扫码软件，其中比较知名的应用有易拍酷，快拍，我查查等。被读就是指电子回执之类的应用，比如火车票，电影票，电子优惠券之类。

手机二维码可以印刷在报纸、杂志、广告、图书、包装以及个人名片等多种载体上，用户通过手机摄像头扫描二维码或输入二维码下面的号码、关键字即可实现快速手机上网，快速便捷地浏览网页、下载图文、音乐、视频、获取优惠券、参与抽奖、了解企业产品信息，而省去了在手机上输入URL的繁琐过程，实现一键上网。同时，还可以方便地用手机识别和存储

名片、自动输入短信，获取公共服务（如天气预报），实现电子地图查询定位、手机阅读等多种功能。随着3G的到来，二维码可以为网络浏览、下载、在线视频、网上购物、网上支付等提供方便的入口。条码识别应用为用户使用手机上网提供了极大便利，省去了输入URL的麻烦，可一次按键即快速进入自己想看的网页，大大提高了上网的便利性。此外，条码识别应用也为平面媒体、增值服务商和企业提供了一个与用户随时随地沟通的方式。条码识别的上网应用旨在进一步为用户提供便捷、高质量的移动互联网服务，同时打造有中国特色的手机二维码产业链，为企业和行业应用开辟空间。中国移动正在大力推动手机厂商对条码识别软件进行手机出厂预装。手机二维码与手机菜单、搜索引擎并称为手机上网三大入口，让用户在任何地点、通过任何媒体、获取任何内容；同时通过这种平台服务，为媒体、企业、品牌创造价值。

4.3 PDA

4.3.1 PDA简介

掌上电脑，又称为PDA(personal digital assistant)，一般都不配备键盘，而用手写输入或语音输入。它具有体积小、重量轻、易携带、耗电少、速度快、数据传输方便等特点，已经成功地应用于各行各业。PDA不仅可用来管理个人信息（如通信录、计划等），更重要的是可以上网浏览，收发E-mail，可以发传真，甚至还可以当作手机来用。尤为重要的是，这些功能都可以通过无线方式实现。

PDA的分类：狭义的PDA指可以称做电子记事本，其功能较为单一，主要是管理个人信息，如通信录、记事和备忘、日程安排、便笺、计算器、录音和辞典等功能。而且这些功能都是固化的，不能根据用户的要求增加新的功能。广义的PDA主要指掌上电脑，当然也包括其他具有类似功能的小型数字化设备。掌上电脑一词也有不同解释。狭义的掌上电脑不带键盘，采用手写输入、语音输入或软键盘输入。而广义的掌上电脑则既包括无键盘的，也包括有键盘的。PDA其实应该细分为电子词典、掌上电脑、手持电脑设备和个人通信助理机四大类，而后两者由于技术和市场的发展，已经慢慢融合在一起了。

PDA所使用的操作系统主要有Palm OS，Windows CE和EPOC。Windows CE只是PDA系统平台中的一种。Windows CE是基于掌上型电脑类的电子设备操作系统。它是一个抢先式多任务并具有强大通信能力的Win32嵌入式操作系统，是微软专门为信息设备、移动应用、消费类电子产品、嵌入式应用等非PC领域而专门设计的战略性操作系统产品。

掌上电脑最大的特点就是它们有其自身的操作系统，一般都是固化在ROM中的。其采用的存储设备多是比较昂贵的IC闪存。掌上电脑一般没有键盘，采用手写和软键盘输入方式，同时配备有标准的串口、GPRS、红外线接入方式并内置有MODEM，以便于个人计算机连接和上网。基于各自的操作系统，任何人可以根据实际的需要利用编程语言（VB、VC语言）开发相应的应用程序，也可以在掌上电脑上任意安装和卸载。

4.3.2 PDA与外界的连接

掌上电脑作为一种小巧的便携式数字设备，具有携带方便、功能强大等优点，但储存容

量不大，时不时要将掌上电脑里的文件储存到计算机里，这就涉及与计算机连接方式的问题。数据传输接口是掌上电脑与个人计算机等其他设备之间进行连接的接口。凭此接口PDA和其他设备之间能够实现上传下载、资料同步等功能。PDA常见的数据传输接口有USB接口、串口、红外线接口和蓝牙接口等。

红外线通信是一种廉价、近距离、无连线、低功耗和保密性较强的通信方案，在PC中主要应用在无线数据传输方面，但目前已经逐渐开始在无线网络接入和近距离遥控家电方面得到应用。红外线端口通信最大的优势就是方便，使用自己特殊的连接协议，数据传输速度能达到4Mbps，而且在有效区域内，可以实现多机动态加入、动态退出连接，让多用户动态建立或终止连接，实现“断点续传”，有较好的保密功能。

蓝牙(bluetooth)是一种用于替代某些电子设备上使用电缆或连线的短距离无线连接技术。利用“蓝牙”技术，能够有效地简化掌上电脑、笔记本电脑和移动电话手机等移动通信终端设备之间的通信，也能够成功地简化以上设备与互联网之间的通信，从而使这些设备与因特网之间的数据传输变得更加迅速高效。通过掌上电脑不仅可以编写E-mail，而且可以立即发送出去，没有外线与PC连接，一切都由蓝牙设备来传送。掌上电脑用蓝牙接口与其他同样具有蓝牙接口的设备可实现无线连接，它具有无方向性限制，有效连接距离达10m，一般的传输速度都有1MB，快速的高达10MB甚至更快等优点，但目前配置蓝牙接口的电子设备却不是很多，与红外线接口的普及率有很大的差距。对于没有蓝牙接口的计算机可通过加装蓝牙适配器来实现蓝牙接口功能，这些蓝牙适配器一般都是USB接口的，可以插在计算机的USB接口上使用。

4.3.3 PDA在实际生活生产中的应用

1. PDA在全站仪通信系统上的应用

掌上电脑PDA以其轻便、廉价、功能强大、便于野外作业的特点，越来越受到测绘界人士的青睐，在某些领域有逐渐替代台式机和笔记本电脑的趋势。基于PDA的嵌入式应用软件研究与开发是目前测绘领域中的一个热点，在已经开发成功的掌上型测绘系统中，大多数是基于Windows CE嵌入式操作系统。

嵌入式系统中，软件和硬件紧密配合，协调工作，共同完成系统预定的功能。Windows CE是微软开发的以组件为基础的嵌入式操作系统，专门用于手持设备和信息家电，它的模块化设计方式使得软件开发人员可以根据不同的开发产品来自己设计系统。

因此本系统中开发一个能够在硬件平台(掌上电脑)、软件平台(PDA内置的Windows CE操作系统)和全站仪(可以认为是嵌入式外围设备)上用来达到用户预期目标的一个嵌入式应用软件。同时为了实现PDA控制全站仪、实时的全站仪测量数据上传/下载，设定在PDA与全站仪间实现双工数据通信的相应程序来实现测量任务。掌上电脑和全站仪之间串口通信，实现数据双向传输，自动化程度高，在野外测量过程中大大提高了工作效率。未来，将PDA用于常规的测量中，实现内、外业一体化、自动化是提高测量效率的必然趋势。

2. PDA在无线办公系统上的应用

PDA在无线办公系统中是以SamsungS3C2410为核心，用PDA来控制、调节、监测直接与嵌入式开发板相连的普通的办公设备，PDA也可以通过ZigBee模块对灯光、空调等办

公环境设备进行无线遥控，另外用 ZigBee 无线通信技术来实现 PDA 与 PDA 之间的通信、PDA 与无线局域网的连接，进而可以使 PDA 通过有线局域网连入互联网。

PDA 无线办公系统功能主要有以 3 个方面：

(1) PDA 对办公设备(打印机、传真机、显示器等)的控制、使用和监测；

(2) PDA 在办公区域的随时接入；

(3) PDA 对办公环境设备的无线遥控。

PDA 的无线办公系统可以在整个办公室范围内，通过 PDA 对办公设备进行控制、使用、监测和对办公室内环境设备的无线遥控，PDA 还可以向主机发送用户的信息，接受控制中心的确认信息。PDA 的无线办公系统较好地满足了无线办公的需求，促进了无线办公室在中小型企业的广泛应用。

3. PDA 在智能巡检系统中的应用

日常的设备巡检工作往往存在很多的问题和难度，比如巡检设备多、巡检选项复杂等，另外，若采用手工纸质记录的方式，也会存在无监督、记录不规范，管理不善等许多人为的因素，因而很难确保巡检结果的准确性和可靠性。然而 PDA 具有许多的优点：轻便、小巧、移动性强，办公的地点并非是固定不变的。它通过射频识别方式接入巡检系统，从而能够保证巡检准确到位，并且它的强大网络覆盖优势使得系统可以远距离控制和使用。因此，在巡检工作中应用 PDA 能够加快设备信息的收集和处理速度，防止巡检工作出现疏漏，且能及时发现设备故障，确保设备正常运行。

(1) 整个系统的组成

智能巡检系统主要由三大模块组成：射频识别、参数记录、数据上传。射频识别模块：用于识别特定的设备，进入相应的巡检项目填写界面；参数记录：用于处理记录的数据，包括对记录数据进行编码和加密等过程；数据上传模块：不断扫描是否有已记录但未发送的数据，并通过 GPRS 网络将记录后的数据上传到服务器。

本系统中 PDA 使用的是 WINCE 系统。Windows CE 系统是 Windows 家族中最新的成员，专门设计给掌上型电脑所使用的计算机环境。这样的系统可使完整的可携式技术与现有的 Windows 桌面技术整合工作。Windows CE 被设计成针对小型设备(它是典型的拥有有限内存的无磁盘系统)的通用操作系统。Windows CE 不仅继承了传统的 Windows 图形界面，并且在 Windows CE 平台上可以使用编程工具(如 Visual Basic、Visual C++ 等)、使用同样的函数、使用同样的界面风格，使绝大多数的应用软件只需简单的修改和移植就可以在 Windows CE 平台上继续使用。

(2) PDA 与射频识别模块的串口通信

系统中采用射频识别技术，它可通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据，而无须识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触，其射频识别范围只有 1～5m。所以，就要求巡线人员必须到达设备所在地后才能进行相关设备的巡检工作，从而也可以保证巡线员的到岗率。射频识别模块安装在 PDA 机身内部。PDA 内部有一个串行端口和射频识别模块相接。串行端口的功能是作为芯片和串行设备之间的编码转换器。当数据从芯片经过串行端口发送出去时，字节数据被转换为串行位，然后在一根数据信号线上一位一位地传输。在到达数据接收端后，串行位又将被转换为字节数据。由于应用程序不断地从射频识别模块的串口中读取数据，而且读取数据的速度相对比较较慢，因此建议应创建单独的线程来读取

串口中的数据,以避免阻塞主线程。

(3) PDA与服务器端主机的通信

PDA与服务器之间的数据传输可通过GPRS无线网络来完成,GPRS是GSM移动电话用户可用的一种移动数据业务,因此,在传输文件之前,需要将插有SIM卡的PDA开通GPRS服务。PDA通过GPRS登录公网后,即可获得一个动态的IP地址。由于PDA登录公网所获得的IP地址是随机的,所以,就要求服务器的IP地址或者域名必须是固定的。为了保证数据传输的完整性,在本系统中的传输形式应以面向连接TCP/IP方式进行传输。由于数据要通过外网传输,而服务器则放置在内网中。因此,出于安全的考虑,设计时要进行内外网隔离。具体过程是在外网服务器接收PDA发送的数据后,通过PC的串口将数据转发至内网服务器,从而在物理层上实现内外网的隔离,从而成功完成数据传输。

PDA的智能巡检系统可实现日常设备数据的采集和自动上传等功能。该系统不仅提高了设备参数采集的效率,还可保证巡检人员的到位率,避免数据输入错误。目前,该系统已经在设备巡检中得到了实际应用。

4.4 摄像头

4.4.1 摄像头简介

摄像头(CAMERA)又称为电脑相机,电脑眼等,是一种视频输入设备,广泛应用于视频会议、远程医疗及实时监控等方面。普通的人也可以相互通过摄像头在网络进行有影像、有声音的视频语音交谈和沟通。另外,人们还可以将其用于当前各种流行的数码影像,影音处理中。

摄像头分为模拟摄像头和数字摄像头两大类。模拟摄像头捕捉到的视频信号必须经过特定的视频捕捉卡将模拟信号转换成数字模式,并加以压缩后才可以转换到计算机上运用。数字摄像头可以直接捕捉影像获得数字信号,然后通过串、并口或者USB接口传到计算机里。现在市场上的摄像头基本以数字摄像头为主,而数字摄像头中又以使用新型数据传输接口的USB数字摄像头为主。而由于模拟摄像头的整体成本较高等原因,USB接口的传输速度远远高于串口、并口的速度,因此现在市场热点主要是USB接口的数字摄像头。

其基本的工作原理是:外界景物通过镜头生成的光学图像投射到图像传感器表面上,通过感知后转为电信号,再经过A/D转换后变为数字图像信号,最后送到数字信号处理芯片(DSP)中进行加工处理,通过USB接口传输到计算机中处理,再由显示器显示就可以看到图像了。我们平时视频聊天用的基本都是数字摄像头。这类摄像头用USB接口传输数据,可以热插拔,使用起来非常方便。

4.4.2 摄像头与网络的连接

摄像头常用的输出/输入接口主要有以下几种:

(1) 串行接口(RS232/422):传输速率慢,为115kbps;

(2) 并行接口(PP):速率可以达到1Mbps;

(3) 红外接口(IrDA):速率也是115kbps,一般笔记本电脑都有此接口;

(4) 通用串行总线 USB：即插即用的接口标准，支持热插拔。USB1.1 速率可达 12Mbps，USB2.0 可达 480Mbps；

(5) IEEE1394(火线)接口(亦称 ilink)：其传输速率可达 100～400Mbps。

摄像头可以通过以上方式及相关协议甚至可以配备相关必须设备与网络的连接，从而实现生活和生产中各种不同的需求。

4.4.3 摄像头在实际生活中的应用

现代生活和生产中摄像头的应用越来越普遍，在很多便携式数字设备中都有摄像头的使用，比如具有拍照和摄像功能的手机，能够将拍到的图像进行保存或通过网络进行传送。在一些环境监控、视频监控、车牌识别、人脸识别技术、交通监测与协调、报警监测设备及汽车上都有摄像头的应用。

(1) 摄像头在交通中的应用

摄像头在交通监测与协调中起着重要作用。自动信号灯通过各种传感器或者摄像头来了解道路上的车流情况，从而相应地调整红绿灯的时间间隔以保证车辆能及时通行。例如，在美国的很多十字路口，深夜当车道上的夜车流稀少的时候，左转灯一般都长时间处于红灯状态，一旦有车辆要左转的时候，该系统可自动让左转灯变绿，这样既方便了直行车的顺畅通行，也保证了左转车辆的快速通过。

(2) 摄像头在车载上的应用

在无线网络环境下对行驶中车辆通过多个摄像头的图像信息对车辆内外情况进行提取以监测车辆内的安全问题。

该实现方法是在 PIC 单片机的控制下，利用 GPRS DTU 进行无线通信，使用 CPLD 扩展接口与多个摄像头进行连接，最终将图像信息协调传输到服务器。该方法简单、经济可靠，降低了多摄像头监控系统的成本，并且已经在多条线路中投入使用，产生了显著的经济效益。

其基本的系统组成分为两部分，分别是服务器端设备和终端设备。服务器端有专用的端有专用的计算机设备和应用程序来监控车辆的当前状况和储存监控数据，并给终端设备发出拍照和数据传输命令。而终端系统设备硬件结构构主要包括 5 大部分：串口摄像头、串口 GPS、串口 GPRS-DTU、主控电路等。GPRS-DTU 是一款串口转 GPRS 网络进行 TCP/IP 数据透明的终端设备，作用是通过 GPRS 无线网络和连接在互联网上的服务器主机进行数据通信，可以接收服务器的拍照命令，并上传数据至服务器。摄像头是一款集图像采集、拍照控制和数据压缩于一体的串口图像采集处理设备，可以拍摄最大 640×480(VGA)分辨率的照片，并压缩为 JEPG 格式通过串口传输。当服务器发一个拍照命令信号时，DTU 收到命令后传给主控电路，并通过 CPLD 发送至串口摄像头。摄像头拍照并把照片数据缓存到 FRAM 中，同时 GPS 每隔一段时间就自动将数据发送到主控电路中并缓存。主控电路协调拍照数据、GPS 数据和传感器数据，最终通过 DTU 发送给服务器。

该应用使用 CPLD 扩展多个串口，在 PIC 单片机的控制下完成多个串口采集 GPS 和图像信息，最终由 GPRS-DTU 发送到连接至互联网的服务器上。使用一个单片机控制多个摄像头，不需因增加摄像头而增加控制芯片，降低了整体设计的成本，该方法已经在多条交通线路监控上投入了使用，其既稳定又可靠。

(3) 摄像头在农业上的应用

现代农业通过物联网,能够更加简单、科学地进行农业的生产和管理。在农业的防虫方面能够应用昆虫图像处理及分析系统(Bug Visux)对害虫图像进行分析、处理,获取图像的数字化特征值及各种信息,从而建立主要农业害虫的数字化信息库;系统包括客户端、服务器端和数据库端的3层结构,可通过CCD摄像头自动获取图像视频,经过远程传送到服务器端,由服务器端进行图像分析与处理,最终达到能够对昆虫进行识别、诊断的目的。

图像的农业害虫远程自动识别是智能图像处理和计算机视觉技术相结合的新技术。计算机通过图像处理、模式识别等技术实现昆虫种类自动识别,从而能够弥补传统的基于文字描述的昆虫识别及昆虫学家人工识别方法的许多不足,能够给用户提供更为实时、更为准确的昆虫识别结果。

而系统中主要是以图像处理技术及计算机视觉来实现昆虫的远程自动识别与诊断。昆虫种类的自动鉴定及其远程应用是一个复杂的系统工程。它包括以下几个方面:已知昆虫图片的标准化收集、昆虫鉴定特征的定义、鉴定特征的提取、分类器的设计:对已知昆虫图片利用分类器进行自动训练,保存分类器的训练结果和参数,利用昆虫图片对分类器进行测试,将鉴定机制做成C/S结构的网络/客户模式,然后接受用户的自动请求并给予自动鉴定。通过计算机得到结论,最后提出相应的实施措施。

4.5 数字电视

随着社会经济的迅速发展,目前我国广播电视事业已经向广播电视数字化推进。数字电视从无开始经历了卫星数字电视、有线数字电视,到现在的地面传输数字电视,使广播电视技术水平整体得到了很大的提高。我们已经无需再通过传统电视机就可获得优质的电视信号,手机、掌上电视、笔记本电脑等先进的通信器材都满足了我们的需求。

数字电视是指将电视信号(图像和音频)数字化,并发送、传输、接收的全过程,具体过程为电视台将其将要传播的图像、声音信号经过信源编码及信道编码两种方式进行数字压缩,通过不同的调制方式(如载波调制、8VSB调制、DVB、QPSK、QAM等)数字调制后,形成所需要的传送形式——数字电视信号,之后应用卫星传输、有线传输、地面传输三种传输方式通过有线或无线介质进行传输,将数字电视信号传输至数字电视接收机,然后进行数字信号发送的逆过程,通过数字解调、视频音频解码还原成原图像和音频。

其从演播室到发射、传输、接收的所有环节都是使用数字电视信号或对该系统所有的信号传播都是通过由0、1数字串所构成的数字流来传播的电视类型。其信号损失小,接收效果好。数字电视(Digital TV)又称为数位电视或数码电视,是指从演播室到发射、传输、接收的所有环节都是使用数字电视信号或对该系统所有的信号传播都是通过由0、1数字串所构成的二进制数字流来传播的电视类型,与模拟电视相对。

按照数字电视的信号传输可以分为地面无线传输(地面数字电视)、卫星传输(卫星数字电视)有线传输(有线数字电视)三类。

4.5.1 地面数字电视传输原理简介

DMB-T(terrestrial digital multimedia television broadcasting)采用了PN序列填充的

时域同步正交频分复用(TDS-OFDM)多载波调制技术。这种技术有机地将信号在时域和频域的传输结合起来,在频域传送有效载荷,在时域通过扩频技术传送控制信号以便进行同步、信道估计,实现快速码字捕获和稳健的同步跟踪性能。在技术上,针对插入强功率同步导频的传统 OFDM 调制方式在传输系统的有效性、可靠性都有损失的缺陷,发明了基于 PN 序列扩频技术的高保护同步传输技术和巧妙利用 OFDM 保护间隔的填充技术,同时提高了传输系统的频谱利用效率和抗噪声干扰性能。针对地面数字电视广播现有传输标准的信道估计迭代过程较长的不足,发明了新的 TDS-OFDM 信道估计技术,提高了系统移动接收性能。针对采用多载波 COFDM 技术的欧标 DVB-T 比采用单载波 8VSB 的美标 ATSC 系统误码门限差的现实,发明了一种新的纠错编解码(FEC)技术,成功地避开了国外专利保护,获得了比 ATSC 更好的系统误码性能。针对其他标准无法支持双向互动、互联网扩展等问题,进行了支持互联网的扩展设计,以便适应未来信息的数字化、多样化和多媒体化拓展,在现有数字电视无线广播基础上可进一步扩展互联网业务、组播、点播、传呼等增值业务,甚至进而拓展视频、数据和语音等综合、交互、移动、便携。针对数字视音频产业已有的成果,DMB-T 设计了灵活的接口方案,支持国际上通用的 MPEG2-TS 流数据格式,可以支持任何类型的视频压缩和数据格式,如 MPEG-2、MPEG-4 等。DMB-T 还采用了不同于已有数字电视技术标准的与自然时间同步的分层复帧结构,来支持单频网。单频网不但能够更好地支持移动数字电视服务,而且能够解决由单个发射机无法覆盖的盲区问题。

4.5.2 有线数字电视传输原理简介

数字电视就是电视节目从摄制、编辑、存储、集成、播出、传输、用户接受全部实现数字化,中间不经过任何模拟处理,称为数字广播电视,简称数字电视。目前,市场上还未出现真正意义上的数字电视,现在所看到的数字电视机,实际上是通过“电视机+机顶盒”的模式来实现的。有线数字电视机顶盒接收数字电视节目、处理数据业务和完成多种应用的解析。从传输层提取信道编码信号,完成信道解调;还原压缩的信源编码信号,恢复原始音/视频流,同时完成数据业务和多种应用的接收和解析。数字机顶盒的结构如图 4-5-1 所示。

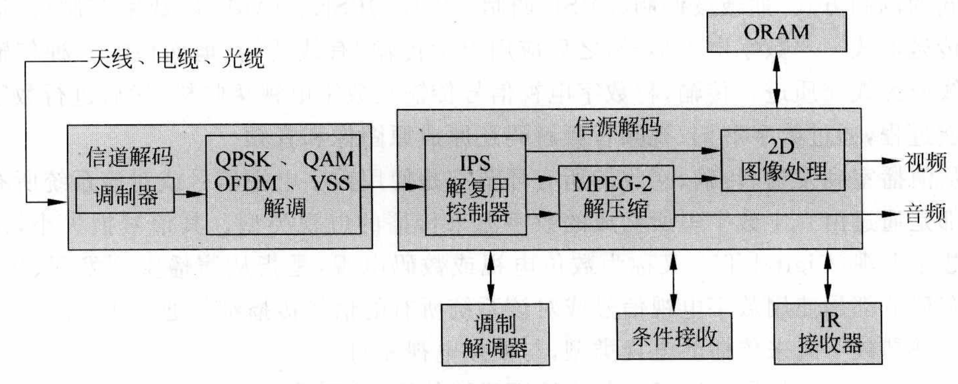


图 4-5-1　数字电视的机顶盒结构

其工作过程是:数字高频头接收来自有线网的高频信号(通常为 48.5～860MHz),通过 QAM 解调器完成信道解码,从载波中分离出包含音、视频和其他数据信息的传送数字流(TS)。传送数字流中一般包含多个音、视频流及一些数据信息。解复用器则用来区分不同

的节目，提前相应的音、视频流和数据流，送入 MPEG-2 解码器和相应的解析软件，完成数字信息到模拟信息的还原，然后在普通模拟彩色电视机上显示高质量图像，并提供多声道立体声节目。

4.5.3 卫星电视接收系统原理简介

数字卫星电视是近几年迅速发展起来的，利用地球同步卫星将数字编码压缩的电视信号传输到用户端的一种广播电视形式，主要有两种工作方式。一种是将数字电视信号传送到有线电视前端，再由有线电视台转换成模拟电视传送到用户家中。这种形式已经在世界各国普及应用多年。另一种是将数字电视信号直接传送到用户家中，即 Direct to Home (DTH)方式。美国 Direct TV 公司是第一个应用这一技术的卫星电视营运公司。与第一种方式相比，DTH 方式卫星发射功率大，可用较小的天线接收，普通家庭即可使用；同时，可以直接提供对用户授权和加密管理，开展数字电视、按次付费电视(PPV)、高清晰度电视等类型的先进电视服务，不受中间环节限制。此外 DTH 方式还可以开展许多电视服务之外的其他数字信息服务，如互联网高速下载，互动电视等。DTH 在国际上存在两大标准，欧洲的标准 DVB-S 和美国标准 DigiCipher。DVB 标准逐渐在全球应用广泛，后起的美国 DTH 公司 Dish Network 也采用 DVB 标准。

一个典型的 DTH 系统由 6 个部分组成：

(1) 前端系统(headend)

前端系统主要由视频音频压缩编码器、复用器等组成，主要任务是将电视信号进行数字编码压缩，利用统计复用技术，在有限的卫星转发器频带上传送更多的节目。DTH 按 MPEG-2 标准对视频音频信号进行压缩，用动态统计复用技术，可在一个 27MHz 的转发器上传若干套的电视节目。

(2) 传输和上行系统(uplink)

传输和上行系统包括从前端到上行站的通信设备及上行设备。传输方式主要有中频传输和数字基带传输两种。

(3) 卫星(satellite)

DTH 系统中采用大功率的直播卫星或通信卫星。由于技术和造价等原因，有些 DTH 系统采用大功率通信卫星，美国和加拿大的 DTH 公司采用了专用大功率直播卫星(DBS)。

(4) 用户管理系统(SMS)

用户管理系统是 DTH 系统的关键，主要完成下列功能：

① 登记和管理用户资料；

② 购买和包装节目；

③ 制定节目计费标准及用户进行收费；

④ 市场预测和营销。

用户管理系统主要由用户信息和节目信息的数据库管理系统以及解答用户问题、提供多种客户服务的 Call Center 构成。

(5) 条件接收系统(CA)

条件接收系统有两项主要功能：

① 对节目数据加密；

② 对节目和用户进行授权。

(6) 用户接收系统(IRD)

DTH 用户接收系统由一个小型的碟形卫星接收天线和综合接收解码器及智能卡组成。

IRD 负责四项主要功能：

① 解码节目数据流，并输出到电视机中；

② 利用智能卡中的密钥进行解密；

③ 接收并处理各种用户命令；

④ 下载并运行各种应用软件。

DTH 系统中的 IRD 已不是一个单纯的硬件设备，它还包括了操作系统和大量的应用软件。目前较成功的 IRD 操作系统是 Open TV。

4.5.4 数字电视技术优点

数字电视技术与原有的模拟电视技术相比，有如下优点：

(1) 信号杂波比和连续处理的次数无关。电视信号经过数字化后是用若干位二进制的两个电平来表示，因而在连续处理过程中或在传输过程中引入杂波后，其杂波幅度只要不超过某一额定电平，通过数字信号再生，都可能把它清除掉，即使某一杂波电平超过额定值，造成误码，也可以利用纠错编、解码技术把它们纠正过来。所以，在数字信号传输过程中，不会降低信杂比。而模拟信号在处理和传输中，每次都可能引入新的杂波，为了保证最终输出有足够的信杂比，就必须对各种处理设备提出较高信杂比的要求。模拟信号要求 $S/N>40\text{dB}$，而数字信号只要求 $S/N>20\text{dB}$。模拟信号在传输过程中噪声逐步积累，而数字信号在传输过程中，基本上不产生新的噪声，也即信杂比基本不变。

(2) 可避免系统的非线性失真的影响。而在模拟系统中，非线性失真会造成图像的明显损伤。

(3) 数字设备输出信号稳定可靠。因数字信号只有“0”、“1”两个电平，“1”电平的幅度大小只要满足处理电路中可能识别出是“1”电平就可，大一点、小一点无关紧要。

(4) 易于实现信号的存储，而且存储时间与信号的特性无关。近年来，大规模集成电路(半导体存储器)的发展，可以存储多帧的电视信号，从而完成用模拟技术不可能达到的处理功能。例如，帧存储器可用来实现帧同步和制式转换等处理，获得各种新的电视图像特技效果。

(5) 由于采用数字技术，与计算机配合可以实现设备的自动控制和调整。

(6) 数字技术可实现时分多路，充分利用信道容量，利用数字电视信号中行、场消隐时间，可实现文字多工广播。

(7) 压缩后的数字电视信号经数字调制后，可进行开路广播，在设计的服务区内(地面广播)，观众将以极大的概率实现“无差错接收”(发“0”收“0”，发“1”收“1”)，收看到的电视图像及声音质量非常接近演播室质量。

(8) 可以合理地利用各种类型的频谱资源。以地面广播而言，数字电视可以启用模拟电视(analog television)、禁用频道(taboo channel)，而且在今后能够采用单频率网络(single frequency network)技术，例如1套电视节目仅占用同1个数字电视频道而覆盖全国。此外，现有的6MHz模拟电视频道，可用于传输1套数字高清晰度电视节目或者4～6套质量

较高的数字常规电视节目，或者16～24套与家用VHS录像机质量相当的数字电视节目。

(9) 在同步转移模式(STM)的通信网络中，可实现多种业务的动态组合。例如，在数字高清晰度电视节目中，经常会出现图像细节较少的时刻。这时由于压缩后的图像数据量较少，便可插入其他业务(如电视节目指南、传真、电子游戏软件等)，而不必插入大量没有意义的"填充比特"。

(10) 很容易实现加密/解密和加扰/解扰技术，便于专业应用(包括军用)以及广播应用(特别是开展各类收费业务)。

(11) 具有可扩展性、可分级性和互操作性，便于在各类通信信道特别是异步转移模式(ATM)的网络中传输，也便于与计算机网络联通。

(12) 可以与计算机"融合"而构成一类多媒体计算机系统，成为未来国家信息基础设施的重要组成部分。

4.5.5 下一代数字电视的技术发展方向

随着美国、欧洲、日本、韩国和中国陆续开播数字电视和强制规定模拟电视终结时间表，数字电视市场正在快速崛起。为了抓住这一千载难逢的发展机遇，中国主要的数字电视开发商和制造商都在全力设计个性化的高性能数字电视产品，其主要努力方向大概可归结为以下几类：支持多种数字电视标准、大屏幕、高清化、互联网DTV、DTV＋PVR、支持更丰富的互联接口。本文将努力从上述几方面为大家描绘出数字电视的未来发展蓝图。

1. 多标准数字电视

由于目前欧洲、北美、韩国和中国等大多数主要地区仍处于模拟电视与数字电视的转换过渡时期，因此市场上仍然有不少希望既能接收模拟电视节目又能接收数字电视节目的多功能电视机，当然，数字电视开发商和制造商也不一定非要把这两项功能都做在一部电视机中，也就是所谓的数字电视一体机，可以采用机顶盒＋模拟电视的解决方案来实现。

此外，美国市场要求从2007年3月1日起，所有新上市的模拟电视机和电视接收设备均必须安装数字调谐器，这意味着数字电视一体机将在美国市场占据统治性地位，而中国的数字电视的增量市场也对一体机有着巨大的需求。因此，未来数字电视一体机会占据越来越大的市场份额。

2. 大屏幕数字电视

随着现代人起居室的不断变大，用户市场对大屏幕数字电视的需求也在不断增长。目前，总体上讲，LCD数字电视是业界的发展主流。但由于性价比的关系，一旦尺寸大到某一限度，LCD屏幕的成本就会急剧上升。传统上，业界认为40英寸是液晶和等离子电视的分界点，液晶电视更专注于40英寸以下领域，而等离子电视则适合40英寸以上的显示需求。但随着技术的进步，近期50英寸有望成为液晶和等离子电视新的分界点。

3. 高清化

随着高清节目源的增多，图像水平清晰度大于800线的高清数字电视(HDTV)越来越成为数字电视的主流，相应的数字电视机顶盒以及编解码芯片也要适应这一发展的要求。

4. 互联网数字电视

数字电视的下一个重要发展方向就是连接互联网，未来的消费者不必再为了检查邮箱、发送电子邮件、在线玩网络游戏、下载和播放网络视频、甚至收看流媒体视频(即IPTV)，而

必须跑到书房去独自呆在PC或笔记本电脑之前，他将可以直接在客厅舒适的沙发上用无线鼠标或无线键盘体验上述PC的所有功能。

从技术上讲，设计师可以考虑采用WiFi、WiMax、百兆/千兆以太网、x-DSL、EPON/GPON等无线或有线技术实现数字电视与互联网的连接，当然必须在数字电视中再增加一块应用处理器或多媒体处理器。

5. DTV＋PVR

PVR(个人视频录像机)也是未来数字电视的下一个重要发展方向。随着未来的数字电视集成DSP或多媒体处理器，PVR功能将逐步融合到未来基于硬盘或微硬盘的数字电视产品中。

6. 支持更丰富的互联接口

未来的数字电视还将支持更多的互联接口，如USB3.0、USB2.0、USB On-the-Go、SD卡、MMC卡、1394和WiFi等，以实现与数码相机、数码摄像机、移动硬盘、PC、笔记本电脑、PMP、智能手机、数码打印机等数字设备的无缝连接，共享相互之间的音视频信息。以上是目前数字电视的几个主要技术发展方向，但实际上，真正的未来数字电视产品很可能是上述几个技术发展方向的组合或融合。

4.6 本章小结

本章详细地介绍了个人计算机、3G智能手机、PDA、摄像头和数字电视与卫星电视等感知方式的概念、发展以及应用和应用前景，为物联网感知自然界提供了更丰富的感知方式。

在这些感知方式中，应用最普遍的是智能手机和个人计算机，几乎人人都通过它们感知和了解世界。随着技术的发展，人们感知自然界的方式会更丰富、更快捷、更简便。

习　　题

1. 计算机及网络系统中常用的身份认证技术有哪些？
2. 什么是手机二维码？
3. 简述3G的几个标准：WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA和WiMAX。
4. 什么是PDA？PDA的狭义分类和广义分类有哪些？其常见的数据传输接口有哪些？
5. 摄像头常用的输出输入接口主要有哪些？
6. 一个典型的DTH系统有哪几部分组成？
7. 数字机顶盒包含哪些部分？

第5章

互 联 网

物联网就是物与物相联的互联网,物联网的核心和基础依然是互联网,是在互联网基础上的延伸和扩展的网络,所以互联网是物联网中必不可少的部分,没有互联网,就不可能有物联网。本章重点讲解互联网概念、关键技术、应用以及物联网与互联网的联系。

5.1 互联网概述

互联网就是将不同规模、不同用途的广域网、局域网等连接起来而形成的国际计算机网络。互联网是全球性的,即现在我们使用的这个互联网,它不属于任何一个国家、组织、地区或者个人。而且,任何人想要控制互联网,企图把它控制在某种范围或者限制它的内容都是不可能实现的。这种“全球性”也不仅仅是口头上的,而是已经有了国际统一的技术标准。实现资源的交换与共享是互联网的第一准则,所以任何以某个区域为核心的网络都不能称做互联网。

对于这样一个全球性的网络,必须要有一定的标准来确定联入其中的每一台主机。在现实中,如果在同一公司的两名员工同名同姓的话,就会带来很多的麻烦。而在全世界区域的互联网上,两台主机如果姓名相同的话,造成的后果会比现实中要严重得多。所以,必须要有一定的准则来做出规定,给每一台加入互联网的主机分配一个合理的名称,也就是这台主机在互联网上的“地址”。

同样,这个全球性的网络也需要制定所有加入网络的主机都必须遵守的交往规则,否则就不可能建立起全球所有不同的计算机、不同的操作系统都能够通用的互联网。这种规则通常称做“协议”。例如互联网传输协议,即 TCP/IP 协议将对网络上的信息等级进行分类,以加快传输速度(比如优先传送浏览信息,而不是电子邮件信息),就是这种机构提供的服务的例证。

事实上,目前的互联网还远远不是我们经常提及的信息高速公路,这不仅因为目前互联网的传输速度不够,更重要的是互联网还没有定型,还一直在发展、变化。因此,任何对互联网的技术定义也只能是当下的、现时的。

与此同时,在越来越多的人加入到互联网中、越来越多地使用互联网的过程中,也会不断地从社会、文化的角度对互联网的意义、价值和本质提出新的理解。

5.2 互联网的 OSI 七层协议

为了减少协议设计的复杂性,大多数网络都按照层(layer)或级(level)的方式来组织。每一层中的技术又可以分为服务、接口与协议:服务说明这一层为上一层提供什么功能;接

口说明这一层如何使用下一层的服务；而协议则说明了本层具体实现哪些服务。而每一层实现服务的具体细节则是相互独立的。对于不同的网络，其层的数量、各层的名字、内容和功能都不尽相同。

OSI 参考模型如图 5-2-1 所示。该模型是由国际标准化组织(ISO)所提出的，是为了将各层上使用的协议进行国际标准化一步一步完善起来的。这个模型称做 ISO-OSI 开放系统互联参考模型(open system interconnection reference model)，常简称为 OSI 模型。

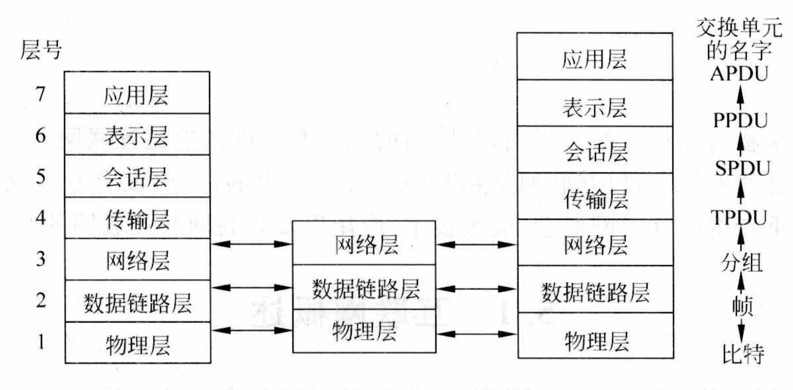


图 5-2-1　OSI 七层模型

OSI 模型有 7 层，其分层原理如下：

(1) 根据不同层次的抽象分层；

(2) 每层应当实现一个定义明确的功能；

(3) 每层功能的选择应该有助于制定网络协议的国际标准；

(4) 各层边界的选择应尽量减少跨过接口的通信量；

(5) 层数应足够多，以避免不同的功能混杂在同一层中，但也不能太多，否则体系结构会过于庞大。

下面将从最下层开始，依次讨论 OSI 参考模型的各层。请注意 OSI 模型本身不是网络体系结构的全部内容，这是因为它并未确切地描述用于各层的协议和服务，它仅仅告诉我们每一层应该做什么。不过，ISO 已经为各层制定了标准，但它们并不是参考模型的一部分，它们是作为独立的国际标准公布的。

1. 物理层(physical layer)

物理层涉及在信道上传输的原始比特流。设计上必须保证一方发出二进制“1”时，另一方收到的也是“1”而不是“0”。这里的典型问题是用多少伏特电压表示“1”，多少伏特电压表示“0”；一个比特持续多少毫秒；传输是否在两个方向上同时进行；最初的连接如何建立和完成通信后连接如何终止；网络接插件有多个帧以及各帧的用途。这里的设计主要是处理机械的、电气的和过程的接口，以及物理层下的物理传输介质等问题。

2. 数据链路层(data link layer)

数据链路层的主要任务是加强物理层传输原始比特的功能，使之对网络层呈现为一条无错线路。发送方把输入数据分装在数据帧(data frame)里(典型的帧为几百字节或几千字节)，按顺序传送各帧，并处理接收方回送的确认帧(acknowledgement frame)。因为物理层仅仅接收和传送比特流，并不关心它的意义和结构，所以只能依赖各链路层来产生和识别帧

的边界，可以通过在帧的前面和后面加上特殊的二进制编码模式来达到这一目的。如果这些二进制编码偶然在数据中出现，则必须采取特殊措施以避免混淆。

传输线路上突发的噪声干扰可能把帧完全破坏掉，在这种情况下，发送方机器上的数据链路软件必须重传该帧。然而，相同帧的多次重传也可能使收方收到重复帧，比如接收方给发送方的信息确认丢失以后，就可能收到重复帧。数据链路层要解决由于帧的破坏、丢失和重复所出现的问题。数据链路层可能向网络层提供几类不同的服务，每一类都有不同的服务质量和价格。

数据链路层要解决的另一个问题（在大多数层上也存在）是防止高速的发送方的数据把低速的接收方"淹没"。因此需要有某种流量调节机制，使发送方知道当前接收方还有多少缓存空间。通常流量调节和出错处理同时完成。

如果线路能用于双向传输数据，数据链路软件还必须解决新的麻烦，即从 A 到 B 数据帧的确认帧将同从 B 到 A 的数据帧竞争线路的使用权，借道（piggy backing）就是一种解决此类问题的巧妙方法。

广播式网络在数据链路层还要处理新的问题，即如何控制对共享信道的访问。数据链路层的一个特殊的子层——介质访问子层，就是专门处理这个问题的。

3. 网络层（network layer）

网络层关系到子网的运行控制，其中一个关键问题是确定分组从源端到目的端如何选择路由。路由既可以选用网络中固定的静态路由表，几乎保持不变，也可以在每一次会话开始时决定（例如通过终端对话决定），还可以根据当前网络的负载状况，高度灵活地为每一个分组决定路由。

如果在子网中同时出现过多的分组，它们将相互阻塞通路，形成瓶颈。此类拥塞控制也属于网络层的范畴。

因为拥有子网的人总是希望他们提供的子网服务能得到报酬，所以网络层常常设有记账功能。最低限度，软件必须对每一个顾客究竟发送了多少分组、多少字符或多少比特进行计数，以便于生成账单。当分组跨越国界时，由于双方税率可能不同，记账则更加复杂。

当分组不得不跨越一个网络以达到目的地时，新的问题又会产生。第二个网络的寻址方法可能和第一个网络完全不同；第二个网络可能由于分组太长而无法接收；两个网络使用的协议也可能不相同等。网络层必须解决这些问题，以便异种网络能够互联。

在广播网络中，选择路由问题很简单。因此网络层很弱，甚至不存在。

4. 传输层（transport layer）

传输层的基本功能是从会话层接收数据，并且在必要时把它分成较小的单元，传递给网络层，并确保到达对方的每个短信息正确无误，而且，这些任务都必须高效率地完成。从某种意义上讲，传输层可以使会话层不受硬件技术变化的影响。

通常，会话层每请求建立一个传输连接，传输层就为其创建一个独立的网络连接。如果传输连接需要较高的信息吞吐量，传输层也可以为之创建多个网络连接，让数据在这些网络连接上分流，以提高吞吐量。另一方面，如果创建或维持一个网络连接不合算，传输层可以将几个传输连接复用到一个网络连接上，以降低费用。在任何情况下，都要求传输层能使多路复用对会话层透明。

传输层也要决定向会话层，最终向网络用户提供什么样的服务。最流行的传输连接是

一条无错的、按发送顺序传输报文或字节的点到点的信道。但是，还有的传输服务是不能保证传输次序的独立报文传输和多目标报文广播。采用哪种服务是再建立连接时确定的。

传输层真正的从源到目标“端到端”的层。源端机上的某程序，利用报文头和控制报文与目标机上的类似程序进行对话。在传输层以下的各层中，协议是每台机器和它直接相邻的机器间的协议，而不是最终的源端机和目标机之间的协议，在它们中间可能还有多个路由器。

很多主机有多道程序在运行，这意味着这些主机有多条连接进出，因此需要有某种方式来区别报文属于哪条连接。识别这些连接的信息可以放入传输层的报文头。

除了将几个报文流多路复用到一条通道上，传输层还必须解决跨网络连接的建立和拆除。这需要某种命名机制，使机器内的进程可以明确它希望与谁会话。另外，还需要一种机制以调节通信量，使高速主机不会发生过快地向低速主机传输数据的现象。这样的机制称为流量控制(flow control)，在传输层(同样在其他层)中扮演着关键角色。主机之间的流量控制和路由器之间的流量控制不同。

5. 会话层(session layer)

会话层允许不同机器上的用户建立会话(session)关系。会话层允许进行类似传输层的普通数据的传输，并提供了对某些应用有用的增强服务会话，也可被用于远程登录到分时系统或在两台机器间传递文件。

会话层服务之一是管理对话。会话层允许信息同时双向传输，或任一个时刻只能单向传输。若属于后者，则类似单线铁路，会话层将记录此时该轮到哪一方了。

一种与会话有关的服务是令牌管理(token management)。有些协议保证双方不能同时进行同样的操作，这一点很重要。为了管理这些活动，会话层提供了令牌。令牌可以在会话双方之间交换，只有持有令牌的一方可以执行某种关键操作。

另一种会话服务是同步(synchronization)。如果网络平均每小时出现一次大故障，而两台计算机之间要进行长达两小时的文件传输时该怎么办呢？每一次传输中途失败后，都不得不重新传输这个文件。而当网络再次出现故障时，又可能半途而废了。为了解决这个问题，会话层提供了一种方法，即在数据流中插入检查点。每次网络崩溃后，仅需要重传最后一个检查点以后的数据。

6. 表示层(presentation layer)

表示层完成某些特定的功能，由于这些功能常被请求，因此人们希望找到通用的解决办法，而不是让每个用户来实现。值得一提的是，表示层以下的各层只关心可靠地传输比特流，而表示层关心的是所传输的信息的语法和语义。

表示层服务的一个典型例子是用一种大家一致同意的标准方法对数据编码。大多数用户程序之间并不是交换随机的比特流，而是诸如人名、日期、货币数量和发票之类的信息。这些对象是用字符串、整型、浮点数的形式，以及集中简单类型组成的数据结构来表示的。不同的机器有不同的代码来表示字符串(如 ASCII 和 Unicode)、整型(如二进制反码和二进制补码)等。为了让采用不同表示法的计算机之间能进行通信，交换中使用的数据结构可以用抽象的方式来定义，并且使用标准的编码方式。表示层管理这些抽象数据结构，并且在计算机内部表示法和网络的标准表示法之间进行转换。

7. 应用层(application layer)

应用层包含大量人们普遍需要的协议。例如,世界上有成百种不兼容的终端型号。如果希望一个全屏幕编辑程序能工作在网络中许多不同的终端类型上,每个终端都有不同的屏幕格式、插入和删除文本的换码序列、光标移动等,其困难可想而知。

解决这一问题的方法之一是定义一个抽象的网络虚拟终端(network virtual terminal),编辑程序和其他所有程序都面向该虚拟终端。而对每一种终端类型,都写一段软件来把网络虚拟终端映射到实际的终端。例如,当把虚拟终端的光标移到屏幕左上角时,软件必须发出适当的命令使真正的终端的光标移动到同一位置。所有虚拟终端软件都位于应用层。

另一个应用层功能是文件传输。不同的文件系统有不同的文件命名原则,文本行有不同的表示方式等。不同的系统之间传输文件所需处理的各种不兼容问题,也同样属于应用层的工作。此外还有电子邮件、远程作业输入、名录查询和其他各种通用和专用的功能。

5.3 互联网中的主要技术

应用于互联网中的主要技术可以大致分为接入技术和网络应用技术两大类。前者包含了从主机用户到互联网之间所使用的技术,而后者包含了应用于整个互联网络上的所有技术。

5.3.1 接入技术

接入技术又可称为网络连接技术,是用户与互联网间连接方式和结构的总称。任何需要使用互联网的计算机必须通过某种方式与互联网进行连接。互联网接入技术的发展非常迅速:带宽由最初的14.4kbps发展到目前的10Mbps甚至100Mbps带宽;接入方式也由过去单一的电话拨号方式,发展成现在多样的有线和无线接入方式;接入终端也开始朝向移动设备发展;此外,更新更快的接入方式仍在继续被研究和开发。

根据接入后数据传输的速度,互联网的接入方式可分为宽带接入和窄带接入。

常见的宽带接入技术包括:ADSL接入、有线电视网络接入、光纤接入、无线光通信接入、人造卫星宽带接入等。

常见的窄带接入技术包括:电话拨号接入、窄带ISDN接入、GPRS手机上网、UMTS手机上网、CDMA手机上网以及在最近十年内兴起并已经得到广泛应用的3G技术等。

1. ADSL接入

非对称数字用户线路(asymmetric digital subscriber line,ADSL),顾名思义,其上行和下行带宽是不对称的。它将大部分带宽用来传输下行信号,而只使用一小部分带宽来传输上行信号,这样就出现了所谓不对称的传输模式。与传统传输技术相比,ADSL是一种宽带调制解调器技术。这种技术能把一般的电话线路转换成高速的数字传输通路。它可以提供三条信息通道:高速的下行信道、中速的双工信道和普通的电话业务信道。

ADSL的网络呈星形结构,如图5-3-1所示。用户的线路和带宽都是独享的,不会出现因为和他人共享线路和带宽而引起的速率受限于用户数量的情况。而且用户之间的信息也是相互隔离的,有充分的安全性保证。

ADSL的主要优点如下:

(1) 可以充分利用现有铜线网络,只要在用户线路两端加装ADSL设备即可为用户提

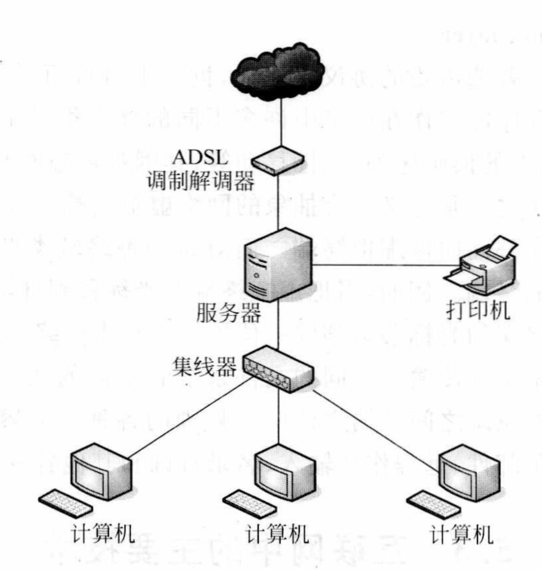


图 5-3-1　ADSL 结构图

供服务。

(2) ADSL 设备随用随装，无须进行严格业务预测和网络规划，施工简单，时间短，系统初期投资小。

(3) ADSL 设备拆装容易、灵活，方便用户转移，较适合流动性强的家庭用户。

(4) 充分利用双绞线上的带宽，ADSL 将一般电话线路上未用到的频谱容量，以先进的调制技术，产生更大更快的数字通路，提供告诉远程接收或发送信息的能力。

(5) 双绞铜线可同时提供普通电话业务的声音和 ADSL 数字线路使用。因此，在一条 ADSL 线路上可以同时提供个人计算机、电视和电话频道。

2. 有线电视上网接入

有线电视上网接入即 CATV，是通过高带宽的有线电视缆线传送网络数据，可以使用计算机或电视来作为上网的工具，而 Cable Modem 是其中非常重要的一种设备。

Cable Modem 中文名即线缆调制解调器，就是通过同轴电缆将 PC、TV、电话、传真等设备接入互联网的界面。传输机理与普通 Modem 基本相同，不同之处在于它是通过 CATV 的某个传输频带进行调制解调的。而普通 Modem 的传输介质在用户与交换机之间是独立的，即用户独享信道，其接收数据的速率可达 1.5Mbps，这种速率大大高于当前的电话线的速率 28.8kbps 和 56kbps，也比 ISDN 的 128kbps 快得多。

就技术观点而言看，有线电视宽带上网的传输速度，下载每秒最快可达 10Mbps，上传可达 1.5Mbps。在实际运作时，虽然会有 500～1000 名用户共享这个带宽，但平均仍有 200～500kbps 的速度，大大超越了传统电话拨接上网(56kbps)及 ISDN 专线(64～128kbps)。而正因为有线电视宽带上网能够快速地传递大量影像、声音、数据等等，因此除了一般的网站浏览之外，更可以使用双向的交互式服务，如电子银行、家庭保全、水电抄表、电子购物、交互式电玩、远程教学、远程医疗、随选卡拉 OK、随选视讯等。随着未来技术开发成熟，有线电视宽带网络的应用层面将比今日所能想象的更加广泛。

3. 光纤接入

光纤即光导纤维，是一种利用光在玻璃或塑料制成的纤维中的全反射原理而达成的光

传导工具。经过不断的技术改进后应用于通信领域，奠定了光通信的基石。

光纤接入是指端与用户之间完全以光纤作为传输媒体。光纤接入可以分为有源光接入和无源光接入。光纤用户网的主要技术是光波传输技术。目前光纤传输的复用技术发展相当快，多数已处于实用化。复用技术用得最多的有时分复用(TDM)、波分复用(WDM)、频分复用(FDM)、码分复用(CDM)等。根据光纤深入用户的程度，可分为光纤到路边(FTTC)、光纤到小区(FTTZ)、光纤到办公室(FTTO)、光纤到楼(FTTB)、光纤到户(FTTH)等。光纤通信不同于有线电通信，后者是利用金属媒体传输信号，光纤通信则是利用透明的光纤传输光波。虽然光和电都是电磁波，但频率范围相差很大。从光纤接入网的网络结构来看，主要可以分为有源和无源两种。

有源光纤网络(active optical network，AON)也存在几种形式，其中一种是以光纤替代原有的铜线主干网，从交换局通过光纤用 V5 接口连接到远端，然后经铜线分配到各终端用户，提高了复用率。这种技术本质上还是一种窄带技术，不能适应高速业务的要求。另外一种形式就是有源双星(active dual star，ADS)光纤接入网结构，采用有源光纤节点可降低对光器件的要求，采用性能低，价格便宜的光器件，但是初期投资较大，作为有源设备存在电磁信号干扰，雷击以及有源设备固有的维护问题，因而有源光纤接入网不是接入网长远的发展方向。

目前光纤接入网几乎都采用无源光纤网络(passive optical network，PON)结构，PON成为光纤接入网的发展趋势。它采用无源光节点将信号传送给终端用户，初期投资少，维护简单，易于扩展，结构灵活，只是要求采用性能好、频带宽的光器件，大量的费用将在宽带业务开展后支出。和 AON 相比，由于无源节点损耗较大，因此传输距离较短，另外还需解决信号的同步和复用等问题。

4. 无线光通信接入

无线光通信或称自由空间光通信(free space optical communication，FSO)是一种宽带接入方式，是光通信和无线通信相结合的产物。它利用激光束作为载波，首先将待发送的信息源变换成电信号，然后将这些电信号输入光调制器，调制到一个由激光器产生的激光束上，并控制这个载波的某个参数，使光信号按电信号的规律变化。于是激光载波就运载着这些已调制成激光的信息，经过处理后由发射天线发射出去。接收是发射的逆过程，接收天线接收到已调制的激光信号，送到光检测器取出电信号，再后由信号变换设备恢复出原始信息。

无线光通信的优点：

(1) 频带宽，速率高，信息量大。理论上，无线光通信的传输带宽与光纤通信的传输带宽相同。国内无线光通信系统一般使用 850nm 波长技术，速率为 10～155Mbps，传输距离可达 4km。

(2) 频谱资源丰富。FSO 设备采用红外光传输方式，有非常丰富的频谱资源，不会和微波等无线通信系统产生相互干扰。

(3) 适用多种通信协议。无线光通信作为一种物理层的传输设备，可以用在 SDH\ATM\以太网、快速以太网等常见的通信网络中，并可支持 2.5Gbps 的传输速率，对语音、数据和图像业务可以做到透明传输。

(4) 部署链路快捷。FSO 设备可以直接架设在楼顶，甚至可以在水域上部署，能完成地

对空、空对空等多种光纤通信无法完成的通信任务，其施工周期较短，可以在数小时内建立起通信链路，而建设成本只有地下光纤的五分之一左右。

(5) 传输保密性好。无线光通信的安全性是非常显著的，它具有很好的方向性和非常窄的波束，因此对其窃听和人为的干扰几乎是不可能的。

(6) 不易出现传输堵塞。由于无线光通信系统使用点对点的系统，在确定发收两点之间视线不受阻挡的通道之后，无线光通信系统到用户端节点之间的信号通道仍然保持着光的形式，中间没有电转换的介入。这样，无线光通信系统内光信号的流动就没有光电转换的障碍，所以信息在传输时就不会出现堵塞现象。

(7) 便携性。由于光波的波长短，在同样功能的情况下，光收发天线的尺寸比微波、毫米波通信的天线尺寸要小很多，同时功耗小、体积小、质量小。无线通信装置可灵活拆装，移装至其他位置，适于临时、应急的通信。

(8) 全天候工作。FSO 全天候工作的可靠率达 99.999%，远远高于国际规定的通信系统年可靠率 95%。

5. 人造卫星宽带接入

目前常见的互联网卫星宽带接入系统主要有 DirecPC(卫星直播网络)和 InSAT(双向卫星传输)，其中 DirecPC 用户较多。

DirecPC 是把卫星通信系统与地面电话网络结合起来，即把电话网络作为上行通道，卫星通道作为互联网的下行链路来实现互联网的高速接入。它与一般以电话传送的最大区别是：DirecPC 不是完全通过卫星做双向传送，用户的接收天线只能下载文档，不能替用户发出指令，因此卫星互联网用户需要通过本地 ISP，才可以把指令发出，不过所有发出的指令，都附带文档下载的卫星互联网 IP 地址(用户计算机上的 PC 卡有专用 IP 地址)。

DirecPC 卫星直拨网路业务的工作过程是：拨号上网时，用户计算机内的 DirecPC 软件会同时告知服务供应商(ISP)，把上网的要求转到 DirecPC 网络操作中心(NOC)。如果用户所要访问的站点在 NOC 的超高速缓存区内，中心会把网页内容调出立即通过卫星直接传给用户；如果用户所要访问的站点不在 NOC 的超高速缓存区内，中心立即从目标信息所在的网络主机获取用户所需资料，然后通过卫星通道把信息传给用户。可见，卫星通道代替了目标信息所在网络至本地网络间传输通道及本地网至用户间的电话线路，传输速率得到了很大提高。例如一个 2MB 的文档来说，利用 33.6kbps 的 MODEM 下载要 9min，通过卫星以 400kbps 下载只要 40s。对于用户而言，要通过卫星上网，除个人计算机外，需配备一块卫星适配卡、一副碟形天线和一套 DirecPC 软件。将适配卡插入计算机，安装 DirecPC 软件，连接天线，就可以上网了。在 Ku 波段下，天线直径约 60cm。

毫无疑问，上面的 DirecPC 卫星直拨网路业务，实际上是一个单向的、有效的宽频带网络，主要是用卫星来解决电话线无法解决的高速数据下载问题，用户仍需依赖地面电话网络。对于现在还不能够实现用电话线入网的地方，则可充分发挥卫星接入系统通信距离远、费用与距离无关、覆盖面积大且不受地理条件限制的特点，采用双向卫星传输即 InSAT 访问互联网，从而实现无处不在的互联网服务。

双向卫星传输可以采用 VSAT 来实现。例如现在的 TDM/TDMA 制式的数据 VSAT 系统，可以认为本来就是基本按客户机/服务器的模式设计的，其双向通信量相差十倍以上。当然其他 VSAT 制式，如 TDMA 或 SCPC 都可以采用。要根据实际应用的需要来选用，对

现有的 VSAT 系统最好能加以改进，以适合互联网通信的需要。

6. 电话拨号接入

Modem 是一种利用电话线和公用电话网接入互联网的技术。目前的电话入户信号基本上都是模拟信号，而计算机所处理和传输的信息都是数字化的，因此计算机入网通信时必须有能够将数字信号转换为模拟信号及模拟信号转换为数字信号的转换装置，前者称为调制，后者称为解调，把两种功能坐在同一台设备上，就叫做调制解调器，即 Modem。

在 20 世纪 90 年代，互联网刚刚兴起的时候，电话拨号业务是最为普遍的上网方式，只要用户拥有一台个人计算机、一个外置或内置的调制解调器和一根电话线，再向本地 ISP 供应商申请自己的账号，或购买上网卡，拥有自己的用户名和密码后，然后通过拨打 ISP 的接入号连接到互联网上。

7. 窄频 ISDN 接入

综合业务数字化网络(integrated services digital network，ISDN)是基于单一通信网络提供包括语音、文字、数据、图像等综合业务的数字网。在用户家中或办公室中安装一个网络终端设备 NT1，用户的电话、传真、计算机等通过 NT1 与 ISDN 交换机相联，用户设备可多达 8 个，只要一根总线接通，如图 5-3-2 所示。

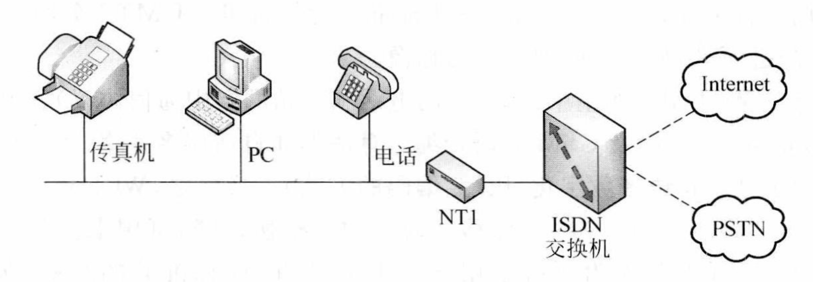


图 5-3-2 ISDN 网络结构

ISDN 有窄带和宽带两种。窄带 ISDN 有基本速率(2B＋D，144kbps)和一次群速率(30B＋D，2Mbps)两种接口。基本速率接口包括两个能独立工作的 B 信道(64kbps)和一个 D 信道(16kbps)，其中 B 信道一般用来传输语音、数据和图像，D 信道用来传输信令或分组信息。宽带可以向用户提供 155Mbps 以上的通信能力。但是由于宽带综合业务数字网技术复杂，投资巨大，目前还不大可能大量投入使用，而窄带综合业务数字网已经非常成熟，完全具备了商用推广的条件，因此各地开通的 ISDN 指的综合业务数字网实际上是窄带 ISDN。由于使用了数字线路数据传输的比特误码特性比电话线路改善了至少 10 倍。

ISDN 用途广泛，只是对于我们普通人来说，只有上网一项是最常用的了。由于 ISDN 的开通范围比 ADSL 和 LAN 接入都要广泛得多，所以对于那些没有宽带接入的用户，ISDN 似乎成了唯一可以选择的高速上网的解决办法，毕竟 128kbps 的速度比拨号快多了；ISDN 和电话一样按时间收费，所以对于某些上网时间比较少的用户(比如每月 20 小时以下的用户)还是要比使用 ADSL 便宜很多的。另外，由于 ISDN 线路属于数字线路，所以用它来打电话(包括网络电话)效果都比普通电话要好得多。

8. GPRS 手机上网

GPRS 是通用分组无线业务(general packet radio service)的英文简称，GPRS 是在现有的 GSM 网络基础上叠加了一个新的网络，同时在网络上增加一些硬件设备和软件升级，形

成了一个新的网络实体，提供端到端的、广域的无线IP连接，目的是为GSM用户提供分组形式的数据业务。

GPRS是一种新的移动数据通信业务，在移动用户和数据网络之间提供一种连接，给移动用户提供无线IP服务。GPRS理论带宽可达171.2kbps，实际应用带宽为40～100kbps，分组交换接入时间缩短为小于1s，能提供快速即时的高速TCP/IP连接，每个用户可同时占用多个无线信道，同一无线信道又可以由多个用户共享，资源被有效利用。

GPRS采用与GSM同样的无线调制标准、频带、突发结构、调频规则以及TDMA帧结构。GPRS允许用户在端到端分组转移模式下发送和接收数据，而不需要利用电路交换模式的网络资源，从而提供了一种高效、低成本的无线分组数据业务。特别适用于间断的、突发性的和频繁的、少量的数据传输，可以用于数据传输，远程监控等应用，也适用于偶尔的大数据量传输。

9. UMTS手机上网

通用移动通信系统(universal mobile telecommunications system，UMTS)是当前最广泛采用的一种第三代(3G)移动电话技术。它的无线接口使用WCDMA技术，又称3GPP定型，代表欧洲在ITU IMT-2000中对关于3G蜂窝无线系统需求的回应。UMTS有时也叫3GSM，强调结合了3G技术而且是GSM标准的后续标准。UMTS分组交换系统是由GPRS系统所演进而来，故系统的架构颇为相像。

MTS结合了WCDMA的空中接口(移动电话和基站的空中通信协议)、GSM系统的移动应用核心部分(MAP)，以及GSM的语音编码算法例如自适应多速率(AMR)和加强全速率(EFR)(它们定义了将语音数字化、压缩、编码的方法)。换言之，WCDMA只是一个空中接口，而UMTS才是一个用于3G全球移动通信的完整协议栈，可用来代替GSM。然而，实际上也经常将WCDMA作为所有采用该空中接口的3G标准族的总称，包括UMTS，FOMA和J-Phone。

与其他WCDMA变种一样，UMTS使用一对5MHz信道，上行信道在1900MHz附近，下行信道在2100MHz附近。相比之下，CDMA2000则可在每个方向上使用一个或多个1.25MHz信道，因此UMTS常因为它的高带宽需求而受到批评。UMTS原先规定的频段为上行1885～2025MHz，下行2110～2200MHz。

UMTS与GSM的一个主要的差别是由无线接口等构成的通用无线接入网(GRAN)，它能够联入不同的骨干网络，如因特网、ISDN、GSM或者UMTS网络。GRAN包含OSI模型的低三层(物理层、数据链路层、网络层)。网络层(OSI 3)协议包括RRM协议(RRM)，它负责管理移动设备与固定网络之间的承载信道，并完成切换功能。

10. 3G

3G(3rd-generation)是第三代移动通信技术的简称，是指支持数据传输的蜂窝移动通信技术。3G服务能够同时传送声音(通话)及数据信息。3G规范是由国际电信联盟(ITU)所制定的IMT-2000规范的最终发展结果。目前3G存在四种标准：CDMA2000，WCDMA，TD-SCDMA，WiMax。第三章已经详细介绍了3G技术，这里就不再赘述了。

5.3.2 网络应用技术

网络应用技术在此指称所有与网络应用相关的技术。随着互联网的不断发展，网络应

用的多样化，以及硬件设施的飞速发展，网络应用技术也向着更多样、更复杂的方向发展。网络应用技术可以概括为以下几种技术，作此概括的主要目的在于罗列与网络应用相关的技术。

1. Web技术

Web技术是最常用的网络应用技术，它是用户向服务器提交请求并获得网页页面的技术总称。这一技术可以分为两个发展阶段，即Web1.0和Web2.0。第一阶段多属于一些静态应用，例如获取HTML页面，或者与服务进行简单的交互，比如用户登录、查询数据库、提交数据等(这些应用也被称为Web1.5)。第二阶段更强调用户与网络服务器之间的互动性，甚至网络应用程序。事实上，Web2.0并不是一个技术标准，它可能使用已有的成熟技术，也可能使用最新的技术，但必须彰显互动概念。

2004年在O'Reilly公司和Media Live公司之间展开的一次头脑风暴会议上，Web2.0概念被首次提出。之后Web2.0这个词被广泛使用，可以将Web2.0的提出理解为开始了一个新的互联网时代。这个新时代是由Web2.0的应用技术、Web2.0的业务应用以及Web2.0的应用模式等共同构成的。随着Web2.0应用技术的发展，互联网的业务能力有所提升，越来越丰富的互联网应用开始出现。

Web2.0应用技术体系是业务实现的基础，是由多种不同的应用技术共同组成的有机集合。这些应用技术体系共同实现了Web2.0的核心理念。Web2.0的应用技术体系围绕资源共享、聚集和复用为中心，技术不断创新和发展，关注用户参与和协作以及良好的用户体验，推动了互联网应用的广泛使用。Web2.0的应用技术体系推崇互联网的开放理念，逐渐形成了开放的互联网技术平台。

2. 网络安全技术

网络安全是一个关系国家安全和社会稳定的重要问题，它涉及计算机科学、网络技术、通信技术、密码技术、信息安全技术、应用数学、数论和信息论等多门学科。其本质是确保网络上的信息安全，具体是确保网络系统的硬件、软件及其系统中的数据不被偶然或者恶意破坏、篡改或泄露，并保证网络系统能连续稳定正常地工作。

(1) 防火墙

防火墙是指设置在不同网络(如可信任的企业内部网和不可信任的公共网)或网络安全域之间的一系列部件的组合。它是在不同网络或网络安全域之间信息的唯一出入口，能根据企业的安全政策控制(允许、拒绝、监测)出入网络的信息流，且本身具有较强的抗攻击能力。它是提供信息安全服务，实现网络和信息安全的基础设施。

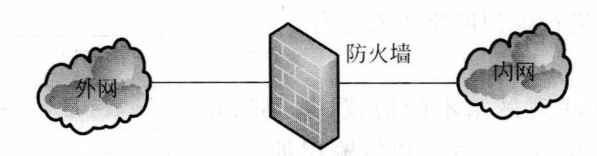


图5-3-3 防火墙示意图

在逻辑上，防火墙是一个分离器，一个限制器，也是一个分析器，有效地监控了内部网和互联网之间的任何活动，保证了内部网络的安全。

防火墙的功能如下：

① 防火墙是网络安全的屏障；

② 防火墙可以强化网络安全策略；

③ 对网络存取和访问进行监控审计；

④ 阻止内部信息的外泄。

防火墙技术可以根据防范的方式和侧重点的不同而分为多种类型，但总体来讲可分为两大类，即分组过滤和应用代理。

分组过滤(packet filtering)：作用在网络层和传输层，它根据分组包头源地址、目的地址和端口号、协议类型等标志确定是否允许数据包通过。只有满足过滤逻辑的数据包才被转发到相应的目的地出口端，其余数据包则被从数据流中丢弃。

应用代理(application proxy)：也叫应用网关(application gateway)，它作用在应用层，其特点是完全“阻隔”了网络通信流，通过对每种应用服务编制专门的代理程序，实现监控和控制应用层通信流的作用。实际中的应用网关通常由专用工作站实现。

(2) 入侵检测系统

入侵检测系统作为一种积极主动的网络安全防护技术，提供对内部网络攻击、外部网络攻击与误操作实时保护，在网络系统体系受到危害之前做出响应入侵，入侵检测系统能很好地弥补防火墙技术的不足。迄今为止，软件技术还不可能百分之百地保证系统中不存在安全漏洞，针对日益严重的网络安全问题和安全需求，适应网络安全模型与动态安全模型应运而生，入侵检测系统在网络安全技术中占有重要的地位。

入侵检测系统由控制台(console)和传感器(sensor)两部分组成，控制台起中央管理的作用，传感器则负责采集数据与分析数据并生成安全事件。

入侵检测系统根据检测的对象可分为基于主机入侵检测系统与基于网络入侵检测系统。

基于主机的入侵检测系统(HIDS)通过全面检测主机的状态与用户操作进行检测分析，可以检测到主机、进程或用户异常行为，在受保护主机上有专门的检测代理系统，通过对系统日志和审计记录识别与分析来发现系统的攻击，及时发送警告信息和采取相应的措施来阻止攻击作用，其主要目的是在事件发生之后，能够提供足够分析来阻止进一步的攻击的用途。如果这些数据包与产品内置某些规则相吻合，则入侵检测系统就会发出警报甚至于直接切断网络连接来进行防御。目前入侵检测系统大部分产品是基于网络的入侵检测系统(NIDS)放置在网络中比较重要的位置，可以不间断地监测网段中各种数据包，并且可以对每一个数据包或者可疑数据包进行特征分析与研究。网络入侵检测系统是可以使用原始网络数据包作为数据源，进行保护网络正常运行。

3. TCP/IP 协议

TCP/IP 协议是互联网最基本的协议，是国际互联网络的基础，由网络层的 IP 协议和传输层的 TCP 协议组成。TCP/IP 定义了电子设备如何联入互联网，以及数据如何在它们之间传输的标准。协议采用了四层的层级结构，如图 5-3-4 所示。

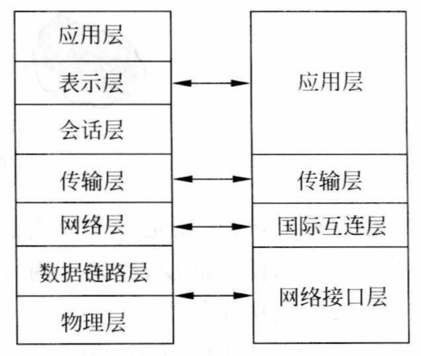


图 5-3-4　TCP/IP 参考模型

(1) 互连层(internet layer)

互连层是整个体系结构的关键部分。它的功能是使主机可以把分组发往任何网络并使分组独立地传向

目标(可能经由不同的网络)。这些分组到达的顺序和发送的顺序可能不同,因此如果需要按顺序发送及接收时,高层必须对分组排序。

互连层定义了正式的分组格式和协议,即 IP 协议(Internet protocol)。互连层的主要功能就是把 IP 分组发送到应该去的地方。分组路由和避免阻塞是主要的设计问题。基于这些原因,我们有理由说 TCP/IP 互连层和 OSI 网络层在功能上非常地相似,图 5-3-4 所示为它们之间的对应关系。

(2) 传输层(transport layer)

在 TCP/IP 模型中,位于互连层之上的那一层,现在通常称为传输层。它的功能是使源端和目标端主机上的对等实体可以进行绘画,和 OSI 的传输层一样。在这里定义的是一个端到端的传输控制协议 TCP(transmission control protocol),它是一个面向连接的协议,允许从一台机器发出的字节流无差错地发往互联网中的其他机器。它把输入的字节流分成报文段并传给互联层。在接收端,TCP 接收进程把收到的报文再组装成输出流。TCP 还要处理流量控制以避免快速发送方向低速接收方向过多报文而使接收方无法处理。

(3) 应用层(application layer)

TCP/IP 模型没有会话层和表示层。由于没有需要,所以把它们排除在外,来自 OSI 模型的经验已经证明,它们对大多数应用程序都没有用处。

应用层包含所有的高层协议,最早引入的是虚拟终端协议(TELNET)、文件传输协议(FTP)和电子邮件协议(SMTP)。虚拟终端协议允许一台机器上的用户登录到远程机器上并且进行工作。文件传输协议提供了有效地把数据从一台机器移动到另一台机器的方法。电子邮件协议最初仅是一种文件传输,但是后来为它提出了专门的协议。这些年来又增加了不少的协议,例如域名服务 DNS(domain name service)用于把主机名映射到网络地址;NNTP 协议,用于传递新闻文章;还有 HTTP 协议,用于在 WWW 上获取主页等。

(4) 主机-网络层

互连层的下面什么也没有,TCP/IP 参考模型没有真正描述这一部分,只是指出主机必须使用某种协议与网络连接,以便能在其上传递 IP 分组。这个协议未被定义,并且随主机和网络的不同而不同。

4. IPv6

随着互联网覆盖面的迅速扩张,上千万拥有无线便携机的人可以用它来与其基地保持联系,而计算机、通信和娱乐业的不断交叉融合,可能在不久的将来,世界上的每一台电视机都会成为因特网的一个节点,从而导致上亿台机器用于视频点播。在这种环境下,很明显 IP 必须进一步发展且更具有灵活性。在这种需求的驱使下,IPv6 诞生了。

IPv6 能很好地满足各项需求。它保持了 IP 的优良特性,抛弃或减弱了其缺点,并且在有必要的环节加入了新特性。总的来说,IPv6 和 IPv4 不兼容,但它与其他所有因特网协议兼容,包括 TCP、UDP、ICMP、IGMP、OSPF、BGP 以及 DNS,有时需要做小小的修改(大部分是为了处理更长的地址)。IPv6 的主要特性如下。

(1) IPv6 有比 IPv4 更长的地址。每个地址有 16 字节长,这就解决了 IPv6 一开始就想解决的问题。它提供了一个有效的无限因特网地址空间。

(2) IPv6 对头部的简化。它仅包含 7 个字段(IPv4 有 13 个),这一变化使路由器处理分组的速度更快,因此提高了吞吐率。

(3) 对选项的更好支持。这一变化与新头部有关,因为以前必需的字段现在只是选项。此外,选项出现的方式也不同了,使路由器可以简单地跳过选项而不必关心它们,这一特性加速了分组处理的过程。

(4) 安全性有了很大的进步。IPv6 有一种很强的意愿要提高安全性。身份认证和隐私权是新 IP 的关键特性。

(5) 在服务类型上比以前集中了更多的注意力,IPv4 实际上有一个 8 位的字段作此用途,但随着未来多媒体通信的迅猛发展,8 位就显得太少了。

5. 路由选择算法

网络层的主要功能是将分组从源端机器经选定的路由送到目的端机器。在大多数子网中,分组的整个旅途需经过多次转发,无线广播网络唯一除外。但即使在这里,如果源端和目的端在同一网络中,仍然有路由选择的问题。路由选择算法(routing algorithm)和它们使用的数据结构是网络层设计的一个主要区域。

路由选择算是网络层软件的一部分,负责确定所收到分组应传送的外出路线。如子网内部采用数据报,对收到的每一个分组都要重新做路由选择,因为对每个分组来说,上次到达的最佳路由可能已经被改变。然而,如果子网内部采用虚电路,则当建立一条新虚电路时,仅需做一次路由选择决策,以后数据就在这条先前建立的路由上传送。后一种情况有时又称做会话路由选择(session routing),因为在整个用户会话期间都存在同一条有效的路由(例如终端的登录会话或文件传送期间)。

不管是为每个分组单独地选择路由,还是仅当建立新连接时选择路由,都希望路由选择算法具有某些特征:正确性、简单性、健壮性、稳定性、公平性和最优性。正确性和简单性不需过多解释,但对健壮性的需要可能开头并不清楚。一旦一个重要的网络投入使用,可能希望它能无变化、无错误地连续运行几年。在这期间,会有这样或那样的软硬件错误,主机、路由器和线路将增加或撤除,拓扑结构要多次改变。路由选择算法必须能妥善处理拓扑结构和通信量的变化,而不会使所有主机中的作业都终止,也不必每当某些路由器崩溃时,都要重新启动该网络。

稳定性也是路由选择算法的重要目标。有的路由选择算法不管运行了多长时间,都不可能趋于稳定。公平性和最优性是显而易见的——肯定没有人反对,但结果证明它们常常是矛盾的。图 5-3-5 所示即为这种矛盾的一个简单的例子。断定在 A 与 A′,B 与 B′和 C 与 C′间的通信总是足以使途中水平链路处于饱和。为了使流量达到最大,X 和 Y 应该完全切断数据传送。不幸的是,X 与 Y 可能都不知道这一点,于是有必要在全局效率与单个连接的公平性之间进行适当的折中。

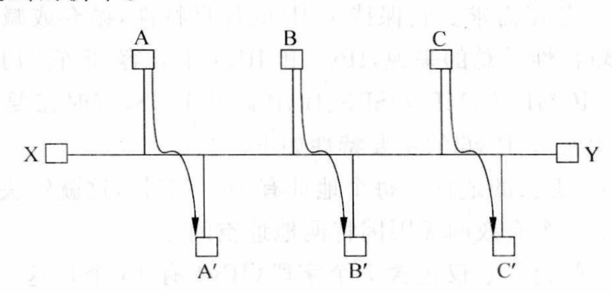


图 5-3-5　公平性与最优性之间的矛盾

在找到公平性与最优性间的平衡办法之前,必须确定要对什么进行优化。可以考虑减少分组平均延迟,同时提高网络的总吞吐量也很重要。此外,使用接近容量限制的队列系统预示着会有很长的队列延迟,因此,这两个目标也是相矛盾的。作为折中,许多网络试图使分组必须经过的站点减至最少。因为减少站点数量,有助于改进延迟,也能减少所消耗的带宽,最终将有助于改进吞吐量。

路由选择算法可以分为两大类:非自适应的和自适应的。非自适应算法(non-adaptive algorithm)不根据实测或估计的网络的当前通信量和拓扑结构作为路由选择。从 I 到 J 的路由对于所有的 I 和 J 是事先离线(off-line)计算好的,在网络启动时就下载到路由器中。这一过程有时称做静态路由选择(static routing)。

相反地,自适应算法(adaptive algorithm)根据拓扑结构,通常还由通信量的变化来改变其路由选择。自适应算法由于其获取信息方式的不同(例如有局部的,从相邻路由器或从所有路由器),改变路由选择条件不同(例如,每 T 秒,当载荷变化或拓扑结构变化时),用于进行优化的参数不同(例如距离、站点数或估计传送时间),可分为不同的种类。例如基于流量的路由选择、距离矢量的路由选择、链路状态路由选择、分级路由选择、移动主机的路由选择、广播路由选择等。

6. 拥塞控制算法

当一部分通信子网中有太多的分组时,其性能降低,这种情况称为拥塞(congestion),如图 5-3-6 所示。当主机转储到通信子网中的分组数量在其传输容量之内时,它们将全部送达目的地(除了因传输错误而不能正确发送的少数分组外),且送到的数量与发送的数量成比例,然而,当通信量增加太快时,路由器不再能够应付,开始丢失分组,并会导致情况恶化。在通信量非常高的情况下,网络完全瘫痪,几乎没有分组能够送达。

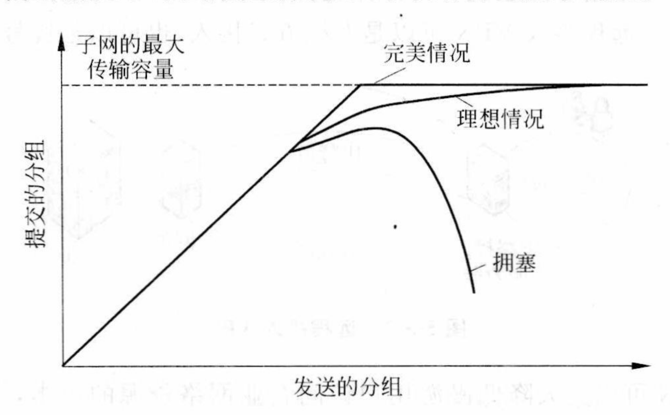


图 5-3-6 当通信量太大时,会发生拥塞,性能显著降低

防止拥塞的方法可以按照分层来进行预防,具体地:

(1) 在传输层可以采用重传策略缓存策略、确认策略、流量控制策略和超时终止。

(2) 在网络层可采用子网内的虚电路与数据报策略、分组排队和服务策略、分组丢弃策略、路由选择算法和分组生命期管理。

(3) 在数据链路层可以采用重传策略、缓存策略、确认策略和流量控制策略。

拥塞控制不仅是网络稳定、高效运行的关键,同时又是实现各种服务质量的基础和前提。实际的网络是一个不断发展的系统,网络拥塞控制研究也是一个非常困难、有挑战性的

研究领域。

7. VPN

VPN(virtual private network，虚拟专用网络)可以在广阔的互联网内建立一片临时的、安全的、稳定的连接，可以被称为“线路中的线路”，而且它具有良好的保密性和抗干扰性。虚拟专用网可以帮助远程用户、公司分支机构、商业伙伴及供应商同公司的内部网(Intranet)建立可信的安全连接，并保证数据的安全传输。在虚拟专用网中的主机将不会觉察到公共网络的存在，仿佛所有的主机都处于一个内部网络中一样。虚拟专用网可用于不断增长的移动用户的全球互联网接入，实现安全连接，也可用于实现企业网站之间安全通信的虚拟专用线路。

在 VPN 技术的发展过程中，出现过以下几种基于不同技术的 VPN 类型：基于帧中继技术组建的 FR VPN、基于异步传输模式(ATM)的 ATM VPN，还有基于 IP 技术的 IP VPN。IP VPN 以其独具特色的优势，赢得了越来越多的企业和运营商的青睐。使用 IP VPN，企业可以较少地关注网络的运行与维护，但却能高效地使用网络，更致力于企业核心商业目标的实现。对运营商而言，可以更好地利用网络资源，获得增值收益。

VPN 主要有 3 种典型的应用方式：远程接入 VPN(access VPN)、内联网 VPN(Intranet VPN)和外联网 VPN(Extranet VPN)。

(1) 远程接入 VPN 是指通过拨号及接入网远程访问企业内部网络的 VPN 方式，图 5-3-7 所示。适用于用户从不同的地点访问企业固定的网络资源，如从住所访问办公室内的资源；出差员工从外地旅店存取企业数据；技术支持人员从客户网络内访问公司的数据库查询调试参数；纳税企业从本企业内接入互联网并通过 VPN 进入当地税务管理部门进行网上税金缴纳。远程用户一般是一台计算机，而不是网络，因此组成的 VPN 是一种主机到网络的拓扑模型。远程接入 VPN 可以是专线方式接入，也可以是拨号方式接入。

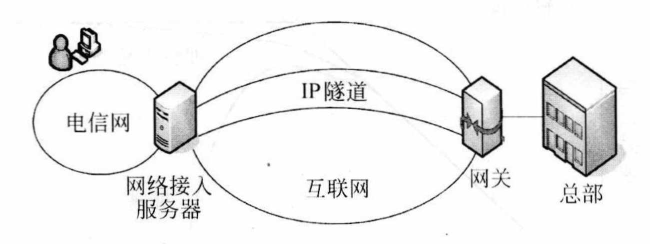


图 5-3-7 远程接入 VPN

远程接入 VPN 可以大大降低漫游用户访问企业网络资源的成本，提高工作效率。移动用户不需要长途拨号，只需要接入到支持接入 VPN 业务的本地接入服务器即可。企业也不需要购买专用的拨号接入设备和租用接入线路，只需要在网管设备上支持一些特殊协议的处理即可。通过定制权限，为企业与员工或合作伙伴提供随时随地的安全通信，提高生产效率。

(2) 内联网 VPN(Intranet VPN)

这是企业总部与分支机构之间通过公网构筑的虚拟网，是一种网络到网络以对等的方式连接起来组成的 VPN，如图 5-3-8 所示。内联网 VPN 可以替代目前市场上使用帧中继和 ATM 等专线构成的专网，显著降低网络建设和运行成本，可极大提高部署和扩展的灵活性。

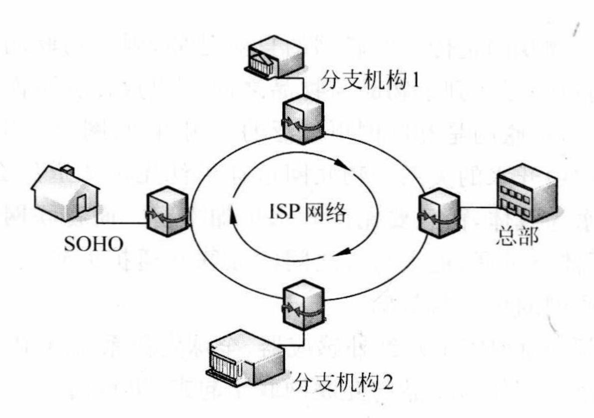


图 5-3-8 内联网 VPN

在内联网 VPN 方式下，只有企业各机构与业务提供商之间的线路需要收费，不需要从企业总部到分支机构的专线连接，因此可以节省大量的专线费用。对于国际性的连接，这种费用的节省就更明显，因为国际专线的费用非常昂贵。另外，VPN 可以增强业务的地域覆盖，使得企业在没有自己专线联网的情况下满足企业分支结构增加所带来的联网需求。

企业独享从办公地点到运营商网络边缘的专线，而运营商的网络资源由多个企业共享，在降低单个企业业务成本的同时，也大大提高了运营商网络的使用效率。

(3) 外联网 VPN(Extranet VPN)

这是不同企业间通过公网来构筑的虚拟网，主要在安全策略上有所不同。这是一种网络到网络以不对等的方式连接起来所组成的 VPN，如图 5-3-9 所示。

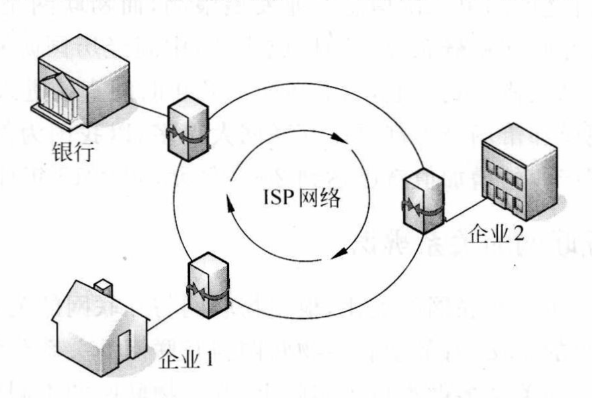


图 5-3-9 外联网 VPN

在基本组网方面，内联网 VPN 与外联网 VPN 没有什么区别，但因为外联网连接的是不同企业和客户，因此必须要考虑一系列的安全问题，主要有以下几个方面：外联网需要更强的接入控制和验证系统；外联网 VPN 部分需要地址统一规划；不同的验证、授权机制；信息扩散范围的限制；部署内部防火墙。

5.4 物联网与互联网的联系

对于物联网与互联网而言，互联网是连接人而物联网不只是连接人也可连接物。互联网连接的是虚拟世界，物联网连接的是物理世界。物联网是互联网的下一代。物联网要取

代互联网，进一步而言，物联网是传统互联网的自然延伸，因为物联网的信息传输基础仍然是互联网，只不过其用户端延伸到了物品与物品之间、人与物之间，而不再是单纯的人与人的相连。从某种意义上，物联网是互联网更广泛的应用，物联网与互联网之间的联系还可以更形象地比喻成果汁和白开水的关系。物联网这杯果汁无论味道怎么变颜色怎么变，它还是以互联网这杯白开水为载体，而且要比白开水更加丰富。而物联网是传感网络和互联网的组合，是互联网的延伸与扩展，把人与人之间的互联互通扩大到人与物、物与物之间的互联互通。互联网是物联网的核心与基础。

物联网是通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统(GPS)、激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物品与互联网联结起来，进行信息交换和通信，以实现智能识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络，它具有唯一标识、全面感知、可靠传输、智能处理等特征。按 IBM 公司的说法，物联网使数字地球转变为智慧地球，数字地球是促进全球信息化的一种基础框架。

互联网构建一个与现实的物理世界相对应的虚拟的赛博(Cybnetics)世界或信息世界，并使后者同前者相并列，物联网则使虚拟世界进一步与现实世界更紧密地相互联系，为两者之间构建了一座桥梁。

物联网的安全与隐私问题比互联网更突出，互联网出现问题时损失的是信息，且可通过加密或备份等方法来避免损失，物联网在智能交通、智能电网等的应用中，发生问题则涉及生命或财产的损失，难以降低损失。另一个突出问题是个人的隐私，由于物联网把人与物的直接联系暴露出来，如家庭内的情况也连到网上了。

互联网是继计算机之后的第二次信息产业发展浪潮，而物联网是继互联网之后的第三次信息产业发展浪潮，互联网从概念提出到形成产业，中间经历国防和军事上的应用，相距达几十年之久，而物联网从概念到产业，只有短短的几年时间直接进入商业应用。从发展趋势看，物联网的产业规模和市场潜力都要比互联网大得多，以我国为例，2010 年被称为物联网产业的元年，物联网产业的增加值就已达到 2000 亿元，到 2015 年计划可超过 7500 亿元。

5.4.1　物联网与互联网的关系辨识

物联网的概念来自于对互联网的类比，根据物联网与互联网的关系分类，不同专家和学者对物联网给出了各自的定义，有的学者将物联网与互联网的关系分为四种类型，其他的大部分学者并未对两者之间关系多做辨析。实际上，基于物联网的不同应用阶段，可将物联网与互联网的关系归纳为如下三种类型。

(1) 物联网与互联网没有直接关系，是两个相互独立的概念。专家认为，物联网就是传感网络，通过传感器把人们生活环境中的物体连接起来，形成一个互联互通的网络，即“物联网”的概念。但这个传感器网不接入互联网络，例如上海浦东机场的传感器网络，其本身并不接入互联网，却号称是中国第一个物联网。在这个理解下，物联网与互联网的关系是相对独立的两张网，如图 5-4-1 所示。

物联网　互联网

图 5-4-1　物联网与互联网的关系

(2) 物联网是互联网的补充网络，两者互有交叉。我们通常所说的互联网是指人与人之间通过计算机联结成的全球性的网络，服务于人与人之间的信息交换。而物联网的主体则是各种各样的物

品，通过物品间传递信息从而达到最终服务于人的目的，两张网的主体不同。所以物联网是互联网的扩展和补充，物联网与互联网是相对平等的两张网。如果把互联网比作是人类信息交换的动脉，那么物联网就是毛细血管，两者相互联通，是互联网的有益补充。如图 5-4-2 所示。

（3）物联网从属于互联网，或者等同于未来互联网。在这个概念里，互联网并不是我们目前所接触的形态，而是一种未来的形态。互联网不断地发展进步，进化到未来的形态就成为一个包容万物的网络，而物联网则是这个网络的一部分。物联网、泛在网络、未来的互联网，名字虽然不同，但表达的都是同一个目的，那就是人类可以随时随地使用任何网络，联系任何人或物，以达到信息交换的自由，如图 5-4-3 所示。

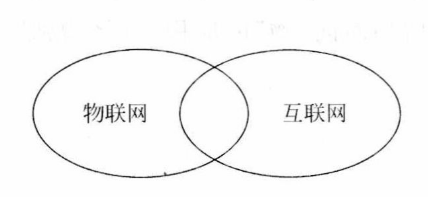


图 5-4-2 物联网与互联网的关系

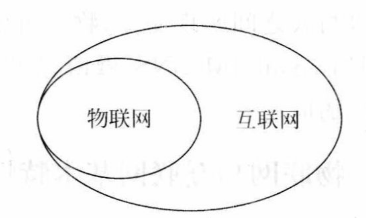


图 5-4-3 物联网与互联网的关系

三种概念的界定都有其可取之处，也有不足之处。实际上，理解物联网与互联网的关系应该从理解物联网的发展状态入手。初级阶段，物联网实现局部的物品的感知和传送，在这个阶段，物品之间通过传感网络即可实现信息的感知和传送，而无须互联网的参与，此阶段，物联网与互联网的关系更接近于第一条。而在中级阶段，需要大量的、大范围的物品互相连接和通信，此阶段仅仅局部的传感网络已经不能满足物联网的要求，需要借助互联网来实现大量的信息获取和传递，此时物联网与互联网的关系更接近关系二所描述的关系。而从物联网要实现的终极形态角度来看，最终我们要实现一个全球的所有的物体的相互联接，这是一个涵盖世界万事万物的庞大的网络，此时的物联网定义更接近于关系三所描述的，是一种未来的形态，与互联网不分彼此，融为一体，是人类的一种终极智能化形态。此时，不仅物联网的概念被充分放大实现，互联网也不是我们目前所接触的互联网，而是未来的、更加先进、更加高级的一种网络。因此，在理解物联网与互联网的关系时，我们不必深究物联网与互联网的关系具体如何，因为这完全取决于物联网发展到了哪种阶段。

5.4.2 物联网与互联网的概念与内涵

美国联邦网络委员会（FNC）对"互联网"这个词的定义为：全球性的信息系统，通过全球性唯一的地址逻辑地连接在一起，这个地址是建立在互联网协议（IP）或今后其他协议基础之上的，可以通过传输控制协议和互联网协议（TCP/IP），或者今后其他接替的协议或与互联网协议（IP）兼容的协议来进行通信，可以让公共用户或者私人用户使用高水平的服务，这种服务是建立在上述通信及相关的基础设施之上的。

具体地讲，互联网是一个网络实体，没有一个特定的网络疆界，泛指通过网关连接起来的网络集合，即一个由各种不同类型和规模的独立运行与管理的计算机网络组成的全球范围的计算机网络。组成互联网的计算机网络，包括局域网（LAN）、城域网（MAN）以及大规模的广域网（WAN）等。这些网络通过普通电话线、高速率专用线路、卫星、微波和光缆等通

信线路，把不同国家的大学、公司、科研机构和政府等组织以及个人的网络资源连接起来，从而进行通信和信息交换，实现资源共享。

ITU对物联网的定义是：通过在各种各样的日常用品上嵌入一种信息传感装置，如射频识别、红外感应器全球定位系统、激光扫描器等，将它们与互联网相连，使我们在信息与通信的世界里获得一个新的沟通维度，将沟通从任何时间、任何地点、任何人之间的沟通连接扩展到人与物、物与物之间的沟通连接。

这个定义包括三层含义：第一，物联网是基于互联网，也就是物联网不是一个完全新建的、与互联网独立的网络，它采用的是互联网的通信协议，利用互联网的基础设施。第二，物联网利用各种技术手段使得各种物体能够接入"互联网"，实现基于互联网的连接和交互，包括物可以与人之间实现交互，物也可以与物之间实现交互。第三，目前的互联网应用主要面向人（例如 email、IM、SNS、微博客等），而物联网将增加面向"物"的应用，也将增强"人"与"物"之间的应用。

5.4.3 物联网与互联网基本特性比较

1. 技术与标准方面

在网络结构上，物联网的网络结构较互联网复杂；在感知层，物联网既有RFID终端，又有传感器网络；而互联网的终端较为统一，为服务器、台式机、笔记本式电脑和移动终端。在传输层，物联网涉及WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA、WiMax、ZigBee、GPS等多种接入技术，核心传输层仍以TCP/IP为标准，同时现阶段的物联网有管理中心，而互联网自治度较高，没有统一管理中心与平台。

在技术现状上，物联网涉及的技术种类多，主要包括无线技术、互联网、智能芯片技术、软件技术等，几乎涵盖了信息通信领域的所有技术。物联网全球发展处于起步阶段，技术标准的争夺已经开始，为了支持物联网的大规模推广和应用，核心技术仍需要深入研究和突破，主要体现在物联网体系架构、安全理论和体系、关键算法、无线技术等方面。对任何技术而言要想大规模推广和应用必须要有统一的标准。物联网涉及的关键技术多，技术的门类不同，且应用广泛，因此标准体系会更加复杂，目前的物联网只在特定区域、特定行业、特定技术上实现了标准化，全球范围内，物联网整体架构上仍然没有统一的标准。互联网底层的技术标准比较统一。

2. 产品与业务方面

目前的物联网的应用主要是M2M，仅仅是通过网络实现了对终端的控制，没有实现"物"与"物"、"物"与"人"之间的互动，另外应用与业务的种类少，仅限于行业应用。从目前的物联网和互联网的一般应用与业务可以看出两者具有以下两点区别。

第一，互联网的应用是虚拟性的，而物联网的应用是实物，这种差异性形成了两者的应用在成本上的差异性。互联网企业为添置服务器耗资甚巨，即便是大批量购买，技术也绝不可能走向免费。但是价格不菲的硬盘驱动器和处理器（固定成本）可服务成千上万的用户（边际成本），由于互联网大规模消费的存在，将成本分摊在日趋庞大的用户群之上。经济学原理告诉我们，在竞争市场上，价格随边际成本的下降而下降。没有什么能比互联网产业更具竞争性，数字信息的边际成本日益趋零。而物联网的应用是针对实物的，在每一个物体上嵌入终端，因此它的成本相对互联网的应用短期内难降下来。

第二，互联网应用的开发不仅是企业和组织，个人也可以参与其中，因此应用的种类丰富，对用户需求把握也较好。而物联网应用的开发基本是企业来实现，在把握用户需求和实现应用的多样性上难度较大。在互联网中，有的应用是企业和组织开发的，如即时通信应用、网络游戏等；有的是个人开发的，比如一些社区；个人还可以对其他人开发的应用进行完善和升级。这是由互联网的技术特性决定的，即互联网的开放性和人人参与的理念，即互联网中的生产者和消费者在很大程度上是重叠的，因此导致互联网的应用是能很好地把握用户需求。而物联网的应用都是针对实物的，而且涉及的技术种类较多，只能由相关的企业来开发，在把握用户的需求及实现应用的多样性上有一定难度。

5.4.4 物联网与互联网产业

生态系统比较产业生态系统可以定义为：在一定空间中共同存在的所有产业组织与其环境之间不断进行物质、能量和信息交换而形成的统一整体。产业组织可以是任何与产业活动有关的企业、公司或团体。产业生态系统不是产业组织之间的简单组合，而是类似于自然界生物系统的有机系统。

从产业生态系统的角度对于研究物联网和互联网，可以提供给我们一个全新的视角来认识物联网和互联网的本质。从产业生态系统观察、思考物联网、互联网，就是把物联网、互联网看作是一个由多要素组成的有机整体（亦即系统），组成该系统的这些要素之间关系密切，可能会“一损俱损、一荣俱荣”。构成该系统的这些要素的生存发展，既受制于相关其他要素的生存发展，又受制于环境的顺逆情况，如图 5-4-4 和图 5-4-5 所示。

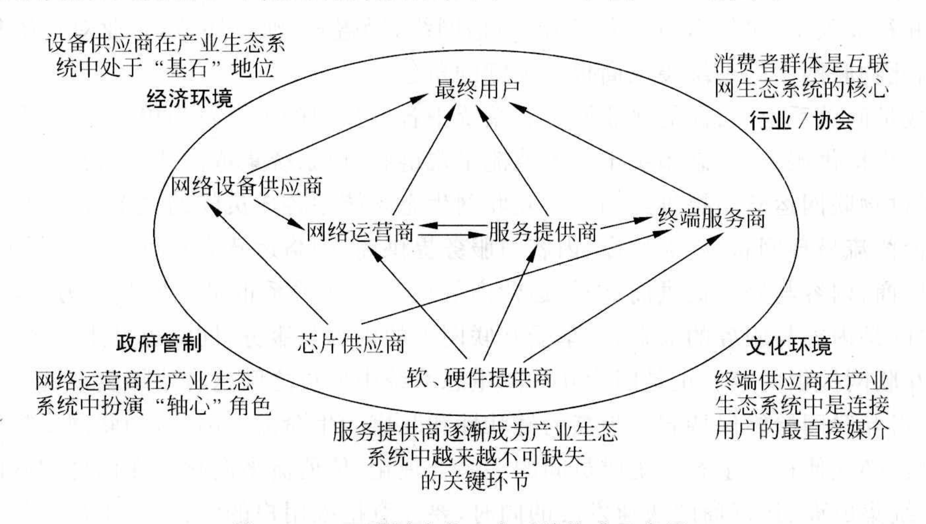


图 5-4-4 互联网产业生态系统构成示意图

在成员的种类上，物联网与互联网主要的成员为设备提供商、系统集成商、运营商和用户。物联网最主要的是在设备提供商中增加了 RFID 和传感器供应商，目前的用户主要为政府和企业客户，个人客户很少。在物联网中，系统集成商包含了内容/服务提供商的内容。

在成员的功能上，设备提供商是物联网和互联网发展的“基石”，在推动技术进步的同时影响着市场的需求与选择。在物联网中，目前 RFID 和传感器的标准还不统一，成本过高，提高了用户消费的门槛，特别是个人用户，对整个产业的繁荣不利。

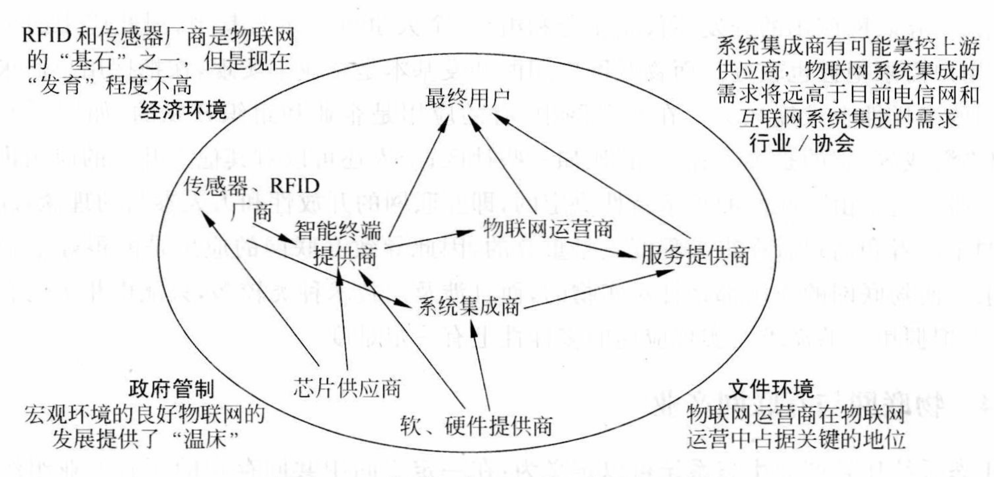


图 5-4-5　物联网产业生态系统构成示意图

运营商在物联网和互联网产业生态系统中都是关键角色，它是领导者和组织者，是可以重新整合各方关系的最强力量。在物联网中，网络层中的感知数据管理与处理技术是实现以数据为中心的物联网的核心技术，它包括了传感网络数据的存储、查询、分析、挖掘、理解以及基于感知数据决策和行为的理论和技术。运营商不仅为用户提供接入的通道，最重要的是进行数据的挖掘、处理与分析。所以物联网的发展，运营商要起到领导者、组织者和整合者的作用。

物联网中的系统集成商的重要性要比互联网中的系统集成商大得多，因为物联网涉及的技术和行业太多，包括 RFID、传感器、电信网络，涵盖软、硬件环节，行业对系统集成需求巨大，因此物联网中的系统集成商也是关键的角色。

在成员间关系上，目前的物联网生态系统中各成员间的关系较为单一，由物联网运营商直接向用户提供服务，生态系统中的价值流呈现链状，由系统集成商或设备提供商提供解决方案，通过物联网运营商提供给用户。互联网生态系统中各成员间的关系较为复杂，生态系统中的价值流呈现网状，终端厂商、内容与服务提供商、网络运营商都可以直接面向用户，同时终端厂商、内容与服务提供商、网络运营商等成员之间关系也呈现网状。另外，在互联网中，用户既是内容与服务的消费者，享受互联网上的内容与服务，同时也是生产者，在某些应用上为互联网提供内容。正是因为互联网生态系统中成员之间这种错综复杂的关系及价值流向，使得互联网始终保持着相当高的健壮性和旺盛的生命力。因此，物联网要想取得突破性的发展，必须使得其生态系统成员间的关系合理化，价值流多向化。在保持物联网设备提供商、系统集成商、运营商的快速发展的同时，要注意挖掘用户的潜力，让用户参与到物联网的发展。

5.4.5　物联网产业成功的关键要素

对物联网与互联网在技术及业务、产业生态系统等方面进行了比较研究之后，经过综合分析，得出物联网的关键成功要素。

(1) 技术创新。目前 RFID，无线传感器网(WSN)等技术领域还没有一套完整的国际标准，各厂家的设备往往不能实现互联操作，在必要时创建新的统一标准。在 RFID、传感

器等关键技术领域进行突破，降低设备的成本，同时在系统架构上，对物联网技术系统的有步骤的开放，将会促进应用层面的开发和各种系统间的互操作性。在安全性上，要在物联网发展开始的时候就予以考虑，制定感知层、传输层和应用层全方位的安全策略。

(2) 资源整合。对现有的感知层、传输层、应用层的标准技术、安全性进行规范、梳理和整合，形成科学合理的技术标准体系。整合产业生态系统中成员力量，RFID和传感器需求量最为广泛，且厂商目前相对产业链的其他环节的企业最了解客户需求，起到推动整个产业发展的基础作用。物联网涉及众多技术和行业，系统集成需求巨大，且系统集成商有可能掌控上游供应商，物联网系统集成的需求将远高于目前电信网和互联网系统集成的需求。系统集成商应该进行力量上的整合，积极推动产业的发展。国内的物联网产业目前仍然比较零散，缺乏主导力量，需要运营商来牵头，组织系统集成商、设备商建立统一的接入标准及运营平台，从而带动整个产业的发展。

(3) 开发应用。业务应用上，在继续深化发展政府与行业应用的同时，努力撬动个人客户市场，发展个性化的业务和应用。在商业模式上，要根据物联网技术、业务等方面的特性，建立全新的商业模式。

5.5 本章小结

本章在介绍互联网的七层协议和技术的基础上，进一步讨论了物联网与互联网的联系。主要内容包括：

(1) 互联网就是将不同规模、不同用途的广域网、局域网等连接起来形成的国际计算机网络，是全球性的网络。在这个全球性网络里，必须遵守一定的规则，这种规则通常称做"协议"，就是所谓的七层协议。

(2) 互联网的主要技术分为接入技术和网络应用技术两大类。前者包含了从主机用户到互联网之间所使用的技术，而后者包含了应用于整个互联网络上的所有技术。

(3) 互联网连接的是虚拟世界，物联网连接的是物理世界物联网是传统互联网的自然延伸，因为物联网的信息传输基础仍然是互联网，只不过其用户端延伸到了物品与物品之间、人与物之间，而不再是单纯的人与人之间的相连。

习题

1. OSI分层原理是什么？简述互联网的OSI 7层模型。
2. 什么是接入技术？互联网的接入技术有哪些？
3. 简述TCP/IP协议。
4. 防火墙如何分类？
5. 试述IPv6的概念和特性。
6. 路由选择算法的健壮性指的是什么？
7. VPN类型有哪些？VPN的应用方式主要有哪些？
8. 物联网与互联网的关系分为哪三种？

第6章 通信网

物联网的一个重要特征基石“泛在化”。实现物联网泛在化特征的基础就是通信网和无线网络。因此，了解通信网与无线网络技术对于理解物联网的基本原理是十分重要的。为了更好地发展物联网，通信网的发展也是必不可少的一部分。没有通信网，就不可能实现真正意义上的物联网。

6.1 通信网概述

人们通过听觉、视觉、嗅觉、触觉等感官，感知现实世界而获取信息，并通过通信来传递信息。对于物联网来说，通信网络就是它的基础承载网络，当感知层中的感应设备将物品信息传输到网络节点后，再通过网络层中的移动通信网、互联网和其他专用网络连接各个服务器。客户以此可以根据自己的需要获取物品信息，然后根据业务需要，实现物与物之间的通信、物与人之间的通信以及人与人间的通信。过去的通信由于受技术与需求所限，仅限于语音。随着信息社会的到来，人们对信息的需求将日益丰富与多样化，而现代通信的发展又为此提供了条件。现代通信意义上所指的信息已不再局限于电话、电报、传真等单一媒体信息，而是将声音、图像、文字、数据等合为一体的多媒体信息。总之，人的各种感官或通过仪器、仪表对现实世界的感觉，以及古往今来的各种书籍、档案、新闻、旧有记录等包含的信息，信息通过通信来进行传递，换句话说是通信使人们的感官得到了延伸。

6.1.1 通信网的定义

什么是通信网？对于这样一个复杂的大系统，从不同的角度，应该有不同的观点。从用户的角度来看，通信网是一个信息服务设施，甚至是一个娱乐服务设施，用户可以使用它获取信息、发送信息、娱乐等；而从工程师的角度来看，通信网则是由各种软硬件设施按照一定的规则互联在一起，完成信息传递和任务的系统。工程师希望这个系统应该可测、可控，便于管理和扩充。概括来说，通信网是由一定数量的节点（包括终端节点、交换节点）和连接这些节点的传输系统有机地组织在一起的，按约定的信令或协议完成任意用户间信息交换的通信体系。用户使用它可以克服空间、时间等障碍来进行有效地信息交换。

换言之通信网是一种使用交换设备、传输设备，将地理上分散用户终端设备互联起来实现通信和信息交换的系统。通信最基本的形式是在点与点之间建立通信系统，但这不能称为通信网，只有将许多的通信系统（传输系统）通过交换系统按一定拓扑结构组合在一起才能称为通信。即有了交换系统才能使某一地区内任意两个终端用户相互接续，才能组成通

信网。通信网由用户终端设备、交换设备和传输设备组成。交换设备间的传输设备称为中继线路(简称中继线),用户终端设备至交换设备的传输设备称为用户路线(简称用户线)。

6.1.2 通信网的构成要素

实际的通信网是由软件和硬件按特定方式构成的一个通信系统,每一次通信都需要软硬件设施的协调配合来完成。从硬件构成来看:通信网由终端节点、交换节点、业务节点和传输系统构成,它们完成通信网的基本功能:接入、交换和传输。软件设施则包括信令、协议、控制、管理、计费等,它们主要完成通信网的控制、管理、运营和维护,实现通信网的智能化。

1. 终端设备

最常见的终端节点有电话机、传真机、计算机、视频终端和 PBX(Private Branch Exchange)等,它们是通信网上信息的产生者,同时也是通信网上信息的使用者。其主要功能有以下两点。

(1) 用户信息的处理:主要包括用户信息的发送和接收,将用户信息转换成适合传输系统传输的信号以及相应的反变换。

(2) 信令信息的处理:主要包括产生和识别连接建立、业务管理等所需的控制信息。

2. 交换设备

交换节点是通信网的核心设备,最常见的有电话交换机、分组交换机、路由器、转发器等。交换节点负责集中、转发终端节点产生的用户信息,但它自己并不产生和使用这些信息。其主要功能有以下几点。

(1) 用户业务的集中和接入功能。通常由各类用户接口和中继接口组成。

(2) 交换功能。通常由交换矩阵完成任意入线到出线的数据交换。

(3) 信令功能。负责呼叫控制和连接的建立、监视、释放等。

(4) 其他控制功能。路由信息的更新和维护、计费、话务统计、维护管理等。

3. 业务节点

最常见的业务节点有智能网中的业务控制节点(SCP)、智能外设、语音信箱系统,以及互联网上的各种信息服务器等。它们通常由连接到通信网络边缘的计算机系统、数据库系统组成。其主要功能有以下几点。

(1) 实现独立于交换节点的业务的执行和控制。

(2) 实现对交换节点呼叫建立的控制。

(3) 为用户提供智能化、个性化和有差异的服务。

目前,基本电信业务的呼叫建立、执行控制等由于历史的原因仍然在交换节点中实现,但很多新的电信业务则将其转移到业务节点中了。

4. 传输系统

传输系统为信息的传输提供传输信道,并将网络节点连接在一起。通常传输系统的硬件组成应包括:线路接口设备、传输媒介、交叉连接设备等。

传输系统一个主要的设计目标就是如何提高物理线路的使用效率,因此通常传输系统都采用了多路复用技术,如频分复用、时分复用、波分复用等。

另外,为保证交换节点能正确接收和识别传输系统的数据流,交换节点必须与传输系统

协调一致,这包括保持帧同步和位同步、遵守相同的传输体制(如 PDH、SDH)等。

6.1.3 通信网的组成及其功能

1. 现代通信网的构成

传统通信系统由传输系统、交换系统和用户终端三大部分组成,其中传输与交换部分组成通信网络,传输部分为网络的链路,交换部分为网络的节点。随着通信技术的发展与用户需求日益多样化,现代通信网正处在变革与发展之中,网络类型以及所提供的业务种类不断地增加,形成了复杂的通信网络体系。

公用通信网仅包括电话网和电报网。随着通信技术的发展,通信网的类型以及通过通信网向公众提供的电信业务的类型不断地增加,服务质量不断提高,通信网具有各种不同的类型,可以分为业务网、传送网和支撑网。

(1) 业务网

业务网是现代通信网的主体,它可以向用户提供诸如电话、电报、传真、数据、图像等各种电信业务。通常业务网也叫用户信息网。

业务网按其功能可分为用户接入网、交换网和传输网三个部分。其中,用户接入网是一个适用于各种业务和技术、有严格规定并以较高功能角度描述的网络概念,它负责将电信业务透明地传输到用户,即用户通过接入网的传输,能灵活地接入到不同的电信业务节点上。

(2) 支撑网

支撑网是在业务网的基础上,为增强业务网功能,保证全网服务质量,快速、方便、经济、灵活地提供新的电信业务而设置的附加网络结构。支撑网包括信令网、同步网、管理网和智能网。信令网通过公共的网络传送信令信号,同步网提供全网同步的时钟,管理网则通过计算机系统对全网进行统一的管理。

(3) 传送网

传送网是指数字传送网络,上面谈到的各类业务网路中的各种不同的业务信号,都将以数字信号的形式通过传输网进行传输。因此传输线路、传输设备是电信网的一项重要的基础设施,由传输线路,传输设备组成的传送网络亦称为基础网。

图 6-1-1 表示的是业务网、传送网和支撑网之间的关系。

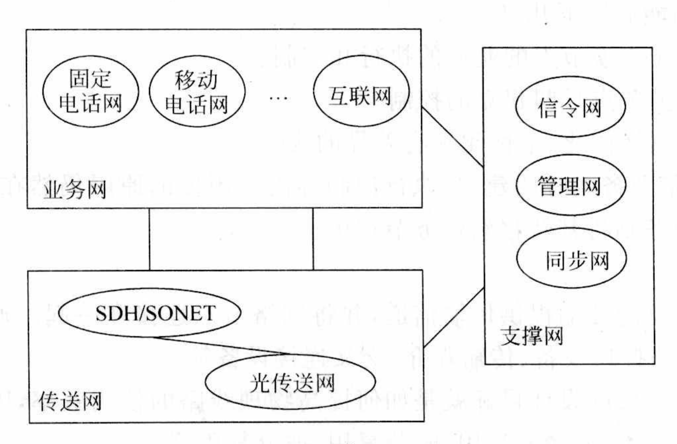


图 6-1-1 业务网、传送网和支撑网之间的关系

2. 通信网的基本结构

(1) 网形网。网形网是完全互联网,网内任何两个节点之间均有线路相连。冗余度较大,稳定性较好;线路利用率低,经济性较差,如图 6-1-2(a)所示。

(2) 星形网。星形网也称为辐射网,将一个节点作为辐射点,该点与其他节点均有线路相连。经济性好、稳定性差,如图 6-1-2(b)所示。

(3) 复合形网。复合形网由网形网和星形网复合而成,是通信网中最常用的一种网路结构,如图 6-1-2(c)所示。

(4) 总线形网。总线形网是所有节点都连在一个公共传输通道——总线上,如图 6-1-2(d)所示。

(5) 环形网。环形网的特点是结构简单,容易实现,可以采用自愈环对网络进行保护,稳定性比较高,如图 6-1-2(e)所示。

(6) 树形网(二级/多级星形网)。树形网是星形拓扑结构的扩展。二级星形网是一组星形网通过一级的汇接局联起来。主要用于用户接入网或者用户线路网中,如图 6-1-2(f)所示。

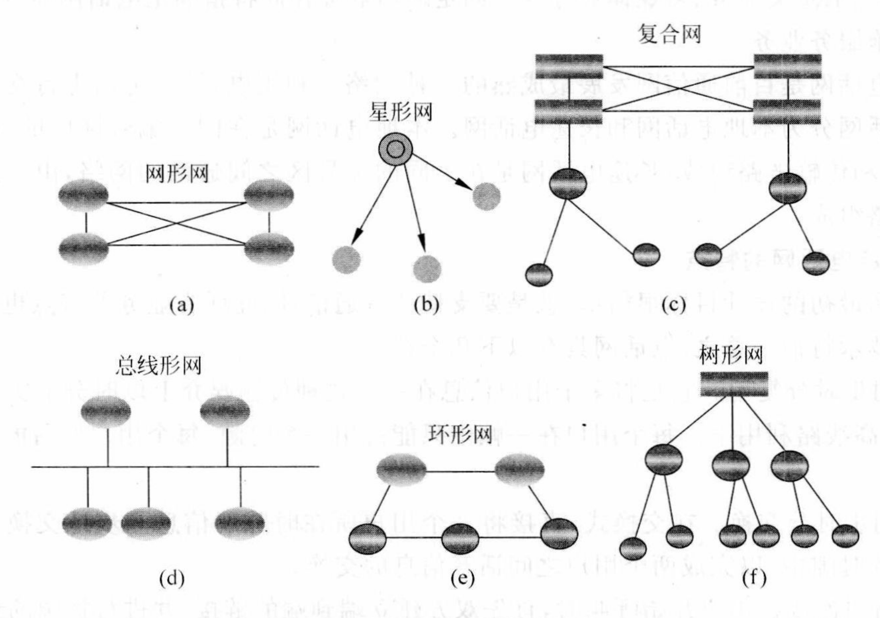


图 6-1-2 通信网的基本结构

3. 现代通信网的功能

现代通信网应该具备以下几种功能。

(1) 协议变换。使得具有不同的字符、码型、格式、信令、协议、控制方法的终端用户能互相"听懂"对方。

(2) 寻址。被传输的信息有地址标识,使之具备寻址能力,能够正确到达目的地。

(3) 路由选择。具有在网络发送节点和目的节点间选择一条最佳通路的能力。

(4) 分组装拆。在信息发送端,由分组装拆将用户数据进行编号、打包或分组;在信息接收端,分组装拆按其原样再组成用户信息。

通信网正在向下一代网络(next generation network,NGN)的方向发展,下一代网络又叫次世代网络,泛指一个不同于当代网络体系结构,通常是指以数据为中心的融合网络体系

结构。

下一代网络的含义可以从多个层面来理解。从业务上看，它应支持语音、数据、视频和多媒体业务。从网络层面上看，在垂直方向上它应包括业务层、传送层等不同层面，在水平方向上它应覆盖核心网和边缘网。

6.2 固定通信网

6.2.1 固定电话通信网概述

固定通信是指通信终端设备与网络设备之间主要通过电缆或光缆等线路固定连接起来，进而实现的用户间相互通信，其主要特征是终端的不可移动性或有限移动性，如普通电话机、IP电话终端、传真机、无绳电话机、联网计算机等电话网和数据网终端设备。固定通信业务包括：固定通信网本地电话业务、固定通信网国内长途电话业务、固定通信网国际长途电话业务、消息类业务、多媒体业务等。固定通信业务在此特指固定电话网通信业务和国际通信设施服务业务。

固定电话网是目前通信网发展最成熟的一种网络。利用电话网，可以进行交互型话音通信。电话网分为本地电话网和长途电话网。本地电话网是在同一编号区内的网络，由端局、汇接局和传输链路组成；长途电话网是在不同的编号区之间通话的网络，由长途交换局和传输链路组成。

1. 固定电话网的特点

电话网最初的设计目标很简单，就是要支持话音通信，因此话音业务的特点也就决定了电话网的技术特征。总之，电话网具有以下几个特点。

(1) 同步时分复用。它是将多个用户信息在一条物理传输媒介上以时分的方式进行复用，用来提高线路利用率。每个用户在一帧中只能占用一个时隙，每个用户所占的带宽也是固定的。

(2) 同步时分交换。在交换式，直接将一个用户所在时隙的信息同步地交换到给端用户所占用的时隙中，以完成两个用户之间话音信息的交换。

(3) 面向连接。用户开始呼叫时，首先双方建立端到端的链接，并进行资源的预留。

(4) 对用户数据透明传输。指对用户数据不做任何处理(如差错控制/流量控制等)，因为话音数据对丢失不敏感。

2. 电话通信网的功能

电话通信网应能执行以下一些基本功能。

(1) 信令功能，具体指能校时并随时发现呼叫的到来和呼叫的结束；能向主、被叫发送各种用于控制接续的可闻信号音；能接收并保存主叫发送的被叫号码。

(2) 控制功能，能检测是否存在空闲通路以及被叫的忙闲情况，控制各电路完成接续。

(3) 交换功能，能实现双发话音信号的变换。

(4) 接口功能，能连接不同种类和性质的终端设备。

(5) 运行、管理和维护功能：通过信令系统和维护软件实现对电话网的配置以及对性能、故障、安全、统计、计费等的管理与维护。

6.2.2 固定通信网的拓扑结构

1. 网状连接

在电话网中，将交换局互相连接起来，经常采用的一种方法是网状连接，如图 6-2-1 所示，每两个交换局之间均存在一条直接相连的路由，每条路由足以传送两局之间电话呼叫的电路群组成。每个交换局称为节点，而每条路又称为网的支路。

当网状网的节点数增加时，网的支路数也将迅速增加，这将增加传输链路的投资费用，这使得网状网的适用智能局限于节点数比较小的网络。

2. 星状连接

与网状连接截然不同的连接方法是星状连接。如图 6-2-2 所示，在星状网中，网的支路数明显小于网状网，但两个节点之间的呼叫必须通过中心节点转接。中心交换局用于在端局之间接续中继呼叫，常称为汇接局。

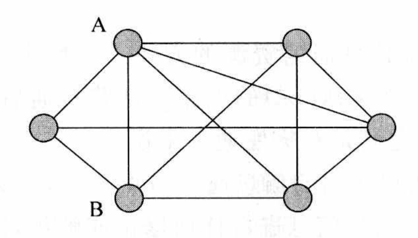


图 6-2-1 网状连接

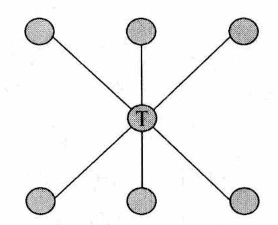


图 6-2-2 星状连接

3. 重叠星状网

为了在更多的节点之间建立起连接，又不造成支路数过多，一种比较实用的结构是重叠星状网，如图 6-2-3 所示。实际的电话网结构是网状网和重叠星状网结构的组合，这是把各种结构的优点组合起来的复合电路网。实践证明，这种复合式结构有利于减小电话网的投资。

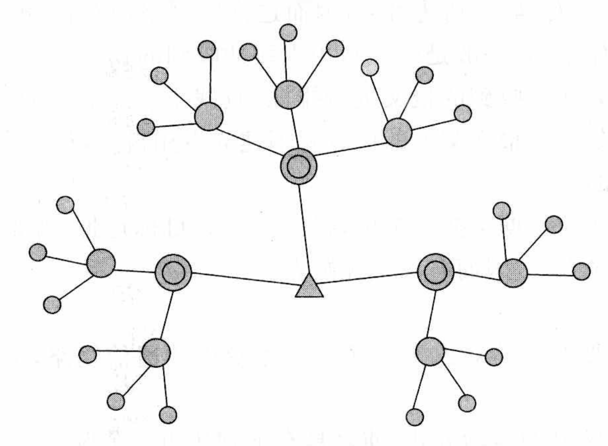


图 6-2-3 重叠星状连接

6.2.3 固定通信网交换技术

我国固定通信网可以采用电路交换技术或分组交换技术。传统公共交换电话网 PSTN

采用电路交换技术，是我国支撑话音业务、数据业务的接入、VoIP 的接入以及提供各种补充业务和增值业务的重要网络。软交换网络采用分组的 IP 承载网传送信令和媒体数据。

1. 电路交换

电路交换方式是在电话通信中经常采用的一种交换方式，它也可以应用于数据通信。当利用电路交换方式进行数据通信时，先拨号建立连接：当拨号的信令通过许多交换机达到被叫用户所连接的交换机时，该交换机就向用户的电话振铃，这时从主叫端到被叫之间建立一条专用的链路，这是一条把源目的地经由交换节点连接起来的物理链路。在物理链路建立之后再开始传送数据。整个通信过程可以划分成三个阶段，即电路建立阶段、数据传送阶段和电路拆线阶段。

电路交换与其他交换技术比较，具有以下优点。

(1) 电路交换是面向连接的交换技术。在通信前要通过呼叫为主叫、被叫用户建立一条物理链路。如果呼叫数超过交换机的连接能力，交换机向用户送忙音，拒绝接受呼叫请求。

(2) 电路交换采用静态复用、预分配带宽并且独享通信资源的方式。交换机根据用户的呼叫请求，为用户分配固定位置、恒定带宽(通常为 64kbps)的电路。话路接通后，即使无信息传输，也需要占用电路。因此电路利用率低，尤其是对突发业务来说。

(3) 控制简单。电路是“透明”的，即发送端用户送出的信息通过节点连接，毫无限制地被传输到接收端。所谓“透明”，是指交换节点不对用户信息进行任何修正或解释，即在传输信息期间，没有任何差错控制措施。

2. 报文交换

报文交换是另一种数据交换方式，这时交换数据的基本单位是报文。这种方式不要求在两个通信节点之间建立专用通路。节点把要发送的信息组织成一个数据包——报文，该报文中含有目标节点的地址。完整的报文在网络中一站一站地向前传送，每一个节点接收整个报文，检查目标节点地址，然后根据网络中的交通情况在适当的时候转发到下一个节点。经过多次的存储-转发，最后到达目标，因而这样的网络叫存储-转发网络。其中的交换节点要有足够大的存储空间(一般是磁盘)，用以缓冲收到的长报文。

交换结点对各个方向上收到的报文进行排队，查找下一个转节点，然后再转发出去，这些都带来了排队等待延迟。报文交换的优点是不建立专用链路，线路利用率较高，这是由通信中的等待时延换来的。

报文交换是以报文为数据交换的单位，报文携带有目标地址、源地址等信息，在交换节点采用存储转发的传输方式，因而有以下优缺点。

(1) 优点

① 报文交换不需要为通信双方预先建立一条专用的通信线路，不存在连接建立时延，用户可随时发送报文。

② 由于采用存储转发的传输方式，使之具有下列优点：在报文交换中便于设置代码检验和数据重发设施，加之交换节点还具有路径选择，就可以做到在某条传输路径发生故障时，可以重新选择另一条路径传输数据，从而提高传输的可靠性；在存储转发中容易实现代码转换和速率匹配，甚至收发双方可以不同时处于可用状态，这样就便于类型、规格和速度不同的计算机之间进行通信；提供多目标服务，即一个报文可以同时发送到多个目的地址，

这在电路交换中是很难实现的；允许建立数据传输的优先级，使优先级高的报文优先转换。

③ 通信双方不是固定占有一条通信线路，而是在不同的时间一段地部分占有这条物理通路，因而大大提高了通信线路的利用率。

(2) 缺点

① 由于数据进入交换节点后要经历存储、转发这一过程，从而引起转发时延(包括接收报文、检验正确性、排队、发送时间等)，而且网络的通信量越大，造成的时延就越大，因此报文交换的实时性差，不适合传送实时或交互式业务的数据。

② 报文交换只适用于数字信号。

③ 由于报文长度没有限制，而每个中间节点都要完整地接收传来的整个报文，当输出线路不是空闲时，还可能要存储几个完整报文等待转发，要求网络中每个节点有较大的缓冲区。为了降低成本，减少节点的缓冲存储器的容量，有时要把等待转发的报文存在磁盘上，进一步增加了传送时延。

3. 分组交换

分组交换是以分组为单位进行传输和交换的，它是一种存储-转发交换方式，即将到达交换机的分组先送到存储器暂时存储和处理，等到相应的输出电路有空闲时再送出。分组是由分组头和其后的用户数据部分组成的，如图 6-2-4 所示。分组头包含接收地址和控制信息，其长度为 3～10B，用户数据部分长度是固定的，平均为128B，最长不超过 256B。这里有一个问题需要说明，同一分组网内分组长度是固定的，而不同分组网分组长度可以不同。路由选择确定了输出端口和下一个节点后，必须使用交换技术将分组从输入端口传送到输出端口，实现输送比特通过网络节点。

分组头	分组净荷

图 6-2-4 分组的一般格式

在分组交换方式中，由于能够以分组方式进行数据的暂存交换，经交换机处理后，很容易地实现不同速率、不同规程的终端间通信。

分组交换有两种方式，分别为数据报方式和虚电路方式。

(1) 数据报方式

在这种方式中，每个分组按一定格式附加源与目的地址、分组编号、分组起始、结束标识、差错校验等信息，以分组形式在网络中传输。网络只是尽力地将分组交付给目的主机，但不保证所传送的分组不丢失，也不保证分组能够按发送的顺序到达接收端。所以网络提供的服务是不可靠的，也不保证服务质量。数据报方式一般适用于较短的单个分组的报文。其优点是传输延时小，当某节点发生故障时不会影响后续分组的传输。缺点是每个分组附加的控制信息多，增加了传输信息的长度和处理时间，增大了额外开销。

(2) 虚电路方式

它与数据报方式的区别主要是在信息交换之前，需要在发送端和接收端之间先建立一个逻辑连接，然后才开始传送分组，所有分组沿相同的路径进行交换转发，通信结束后再拆除该逻辑连接。网络保证所传送的分组按发送的顺序到达接收端。所以网络提供的服务是可靠的，也保证服务质量。这种方式对信息传输频率高、每次传输量小的用户不太适用，但由于每个分组头只需标出虚电路标识符和序号，所以分组头开销小，适用长报文传送。

6.2.4 固定通信网的服务质量

固定电话网的服务质量表明用户对电话网提供的服务性能是否达到理想的满意程度，是各种服务性能的综合体现。它主要包括传输质量、接续质量和稳定质量三个方面的内容。

1. 传输质量

传输质量表示在给定的条件下，信号经网络设备传输到接收端时再现其原有信号的程度。

(1) 响度：它反映通话的音量。

(2) 清晰度：它反映通话的可懂度，是指受话人收听一串无连贯意义的音节时，能正确听懂的百分数。

(3) 逼真度：它反映音色特性的不失真程度。

2. 接续质量

接续质量用服务等级来规定。服务等级的定义是：用户因遭受损失而对接续质量感到不方便、不满意的服务标准。服务等级包括两方面内容，即呼损率和接续时延。

用户发起呼叫时，如果在交换网络或中继电路中因不能占用一条空闲出线，从而不能建立连接，这种状态称为呼叫损失，简称呼损或呼损率。

接续时延是指完成一次接续过程中交换设备进行接续和传递相关信号所引起的时间延迟。

3. 稳定质量

稳定质量是指当传输、交换等设备发生故障和话务异常时可以维持正常业务的程度。从用户的角度看，希望网络稳定质量越高越好，但提高稳定质量必然会增加网络成本，因此，在规定指标时，要综合考虑技术上和经济上的因素。全网稳定质量分为用户系统稳定质量和接续系统稳定质量两大部分。用户系统包括用户终端和用户线路，其稳定质量表示用户终端和用户线路因故障而不能进行发送和接受的程度。接续系统是指从发端局至收端局间的交换设备和传输设备组成的系统，其稳定质量又分为一般故障下的稳定质量和严重故障下的稳定质量。

6.3 移动通信网

随着移动通信技术的发展，移动通信在现代通信领域中的地位与日俱增。移动通信的业务量在我国已经超过了固定网络的通信量，并还在以强劲的势头继续发展。移动通信业务量的年增率大大超过了固定网。传统的通信网已不能满足现代通信的要求，移动通信网已成为现代通信网中发展最快的一种通信网络。人们对通信的理想要求为，任何人(whoever)在任何时候(whenever)和任何地方(wherever)，能够同任何人(whoever)进行任何方式(whatever)的信息交流，即个人通信。随着物联网的概念的提出与物联网的不断发展，对移动通信的要求越来越高，不仅要求人与人的通信，还要求人与物、物与物的通信，这个终极目标正在一步一步变为现实。

6.3.1 移动通信的基本概念

1. 移动通信的特点

移动通信是指通信的一方或双方可以在移动中进行的通信方式。相对于固定通信而言,移动通信主要有以下几个特点。

(1) 移动性。移动性是指用户在移动时,不论移动到什么地点仍能通信和接入服务的能力。移动通信的传输信道是无线信道,也称为无线移动通信。移动的类型包括个人移动、终端移动、网络移动和服务移动等。

(2) 电波传播条件复杂。由于移动物体可能在各种环境中运动,电磁波在传播时会产生反射、折射、绕射、多普勒效应等现象,产生多径干扰、信号传播时延和展宽等效应。因此必须研究电波的传播特性,使系统具有足够的抗衰落能力,从而保证系统的正常工作。

(3) 噪声和干扰严重。移动台在移动过程中会受到各种噪声和干扰,如工业噪声和天然噪声,移动用户之间的互调干扰、邻道干扰、同频干扰等。由于移动通信的特殊工作方式和组网方式,这些干扰比其他方式严重得多。

(4) 系统和网络结构复杂。移动通信网是一个多用户通信网络,必须使用户之间互不干扰,协调一致地工作。此外,移动通信网还应与固定网、卫星通信网、数据网等互联,整个网络结构很复杂。

(5) 用户对终端的要求很高。由于移动通信设备都是手持机或车载台,使用过程中难免会受到外部环境的影响,因此不仅要求移动台体积小、质量轻、省电,而且要求操作简单、维修方便,在恶劣环境下能正常工作。

(6) 频率资源有限。有限的资源决定了有限的信道容量,这与巨大的用户量的需求相矛盾。如何提高系统的频率资源是移动通信系统的重要课题。

2. 移动通信系统的组成

移动通信网系统通常由业务交换中心、基站、中继传输系统、移动台、操作维护中心和一些数据库组成。

(1) 移动业务交换中心

移动业务交换中心具有为用户提供终端用户、承载业务、补充业务的接续功能和为无限资源管理、移动用户的等级、越区交换等的集中控制管理功能,并且能够通过关口 GMSC 与其他网络连接。

(2) 基站(basic station,BS)

基站负责与本小区移动台的通信,识别本小区内的不同用户,以及通过移动业务交换中心与其他小区的移动台通信。

(3) 移动台(mobile station,MS)

移动台指移动网中的终端设备,可以是手机或车载台,负责变换用户的话音信息并以无线电波的方式传播。

(4) 中继传输系统

在移动业务交换中心之间、移动业务交换中心和基站之间都采用有线方式。

(5) 数据库

数据库用于储存用户的相关信息,包括归属位置寄存器(HLR)、访问位置寄存器

(VLR)、鉴权中心(AUC)、设备识别寄存器(EIR)。

3. 移动通信的分类

移动通信的分类方法很多,按使用对象可分为民用和军用两种类型;按使用环境可分为陆地通信系统、海上移动通信系统和航空移动通信系统三种类型;按信号形式可分为模拟和数字两种类型;这里只简单介绍常用的移动通信系统的类型。

(1) 公共移动通信系统

公共移动通信系统是指为公众提供移动通信业务的网络,可分为大区制移动通信和小区制移动通信,小区制移动通信也成为蜂窝移动通信。

(2) 集群移动通信系统

集群移动通信,也称大区制移动通信。它的特点是只有一个基站,天线高度为几十米至百余米,覆盖半径为30km,发射机功率可高达200W。用户数约为几十至几百,可以是车载台,也可以是手持台。它们可以与基站通信,也可通过基站与其他移动台及市话用户通信,基站与市站有线网连接。

(3) 寻呼系统

寻呼系统是给用户发送简短消息的单向通信系统。寻呼系统可分为专用系统和公用系统两大类。专用系统以采用人工方式的居多。一般在操作台旁有一部有线电话。当操作员收到有线用户呼叫某一袖珍铃时,即进行接续、编码,然后经编码器送到无线发射机进行呼叫;袖珍铃收到呼叫后就自动振铃。公用系统多采用人工和自动两种方式。

(4) 无绳电话

无绳电话系统是使用无线电来连接手持机和专用基站的移动通信系统,而专用基站通过电话线连接到公用电话交换网。它的特点是不适于乘车时使用,只适于步行时使用。

(5) 蜂窝移动电话系统

蜂窝移动通信,也称小区制移动通信。它的特点是把整个大范围的服务区划分成许多小区,每个小区设置一个基站,负责本小区各个移动台的联络与控制,各个基站通过移动交换中心相互联系,并与市话局连接。利用超短波电波传播距离有限的特点,离开一定距离的小区可以重复使用频率,使频率资源可以充分利用。每个小区的用户在1000以上,全部覆盖区最终的容量可达100万用户。

(6) 卫星移动通信通信系统

移动卫星通信系统利用卫星作为中继站,转发无线电信号,并与地面移动通信系统相结合以实现全球个人通信。卫星通信的特点是通信距离远,通信覆盖面积大,通信质量高等。

6.3.2 移动通信的发展

早在20世纪20年代至20世纪40年代初,移动通信就有了初步的发展,不过当时的移动通信使用范围非常小,主要适用对象是船舶、飞机、汽车等专用移动通信以及军事通信,使用频段主要是短波段。移动通信技术的迅速发展经历了第一代模拟移动通信系统(1G),第二代数字移动通信系统(2G)和以提供宽带多媒体业务为主要特征的第三代移动通信系统(3G)。目前,世界各国已经开始新一代移动通信系统,即4G的研究。

1. 第一代移动通信系统

第一代移动通信系统是模拟移动通信系统。诞生于20世纪70年代至20世纪80年

代，当时集成电路技术、微型计算机和微处理技术快速发展，美国贝尔实验室推出了蜂窝式模拟移动通信系统，使得移动通信真正进入了个人领域。第一代移动通信主要采用模拟语音调制技术和频分多址(FDMA)技术，传输速率约2.4kbps，由于受到传输带宽的限制，不能进行移动通信的长途漫游，只能是一种区域性的移动通信系统。受模拟通信体制和技术水平的限制，当时手持机就成了俗称的砖头式“大哥大”，如图6-3-1所示。

2. 第二代移动通信系统

第二代移动通信系统是目前广泛使用的数字移动通信系统，使用频率范围为800～900MHz。2G(second generation)表示第二代移动通信技术，代表为GSM，以数字语音传输技术为核心。2G技术基本可分为两种，一种是基于TDMA所发展出来的，以GSM为代表；另一种则是CDMA规格，复用(Multiplexing)形式的一种。图6-3-2所示为GSM网的应用之一。



图6-3-1 最早使用的手提电话



摩托罗拉V8

图6-3-2 2G移动通信系统应用GSM(摩托罗拉V8)

与第一代模拟通信系统相比，第二代数字移动通信系统的频谱利用率高，可以提供更大的容量；抗干扰和抗衰落的能力增强，能够保证较好的语音质量；可以提供更多的业务；系统保密性较好。但随着用户数量的迅猛增加，现在的系统也远远不能满足用户容量的发展需求。而且，第二代移动通信系统中和几个主流技术相互之间并不兼容，无法实现全球漫游。因此，产生了新一代的移动通信系统(即第三代移动通信)。

3. 第三代移动通信系统

第三代移动通信系统IMT2000，是国际电信联盟(ITU)在1985年提出的，当时称为陆地移动系统(FPLMTS)。1996年正式更名为IMT2000。其最基本的特征是智能信号处理技术。智能信号处理单元将成为它的基本功能模块，实现基于话音业务为主的多媒体数据通信，使用的频率是2000MHz。

第三代移动通信系统能够同时提供实时语音和宽带数据等多媒体业务；能够支持新的基于分组交换的空中接口，如无线IP技术；能够实现多个网络的互联，包括与第二代移动通信网、ISDN及PDN等互联；能够适应多模式操作和软件无线电技术。

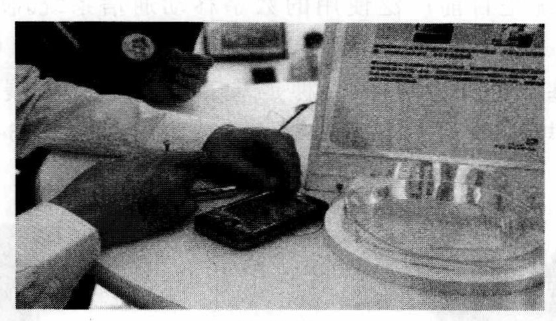
第三代移动通信系统是以IMT-2000为基础，3种主流标准分别为欧洲的WCDMA、美国的CDMA2000和中国的TD-CDMA。图6-3-3所示为第三代移动通信的应用之一。

4. 第四代移动通信系统

虽然第三代移动通信系统的目标之一是形成统一的目标，但结果还是3G形成了多种制式并存的局面，同时随着人们生活、工作空间的日益扩大，对通信的要求也越来越高，3G



(a) 手机视频通话



(b) 移动视频会议

图 6-3-3　手机视频通话以及移动视频会议

技术面临着多种技术竞争的压力，因而在 3G 距离实用化还有一段时间的时候，人们已经开始了对 4G 的研究。

6.3.3　GSM 系统

1. GSM 系统概述

GSM 是 global system for mobile communications 的缩写，是由欧洲电信标准组织 ETSI 制定的数字移动通信标准。GSM 系统属于第二代蜂窝系统，工作在 900MHz 波段，采用时分多址方式工作。它具有以下优点。

(1) 频谱利用率比模拟移动网高。由于采用了高效调制器，信道编码、交织、均衡和话音编码技术，所以系统有较高的频谱效率。

(2) 相对于模拟移动网，其容量大。由于每个信道传输带宽为 200kHz，使得同频复用载干比降低至 9dB，故 GSM 系统同频复用模式缩小，大大高于模拟移动网。

(3) 话音质量提高。GSM 系统中，只要在门限值以上，话音质量总是达到相同的水平，与传输质量无关。

(4) 安全性。GSM 为了安全使用多种加密算法。A5/1 和 A5/2 两种串流密码用于保证在空中语音的保密性。

2. GSM 系统的网络结构

GSM 数字蜂窝通信系统的主要组成部分可分为移动台、基站子系统(BSS)和网络子系统(NSS)。

基站子系统由基站收发台(BTS)和基站控制器(BSC)组成；网络子系统由移动交换中心(MSC)和操作维护中心(OMC)以及归属位置寄存器(HLR)、访问位置寄存器(VLR)、鉴权认证中心(AUC)和设备标识寄存器(EIR)等组成。

（1）移动台

MS 是 GSM 系统分的用户设备，可以是车载台、便携台和手持机。它由移动终端和用户识别卡 SIM 两部分组成。移动终端主要完成语音信号处理和无线收发等功能。SIM 卡存储了认证用户身份所需的所有信息以及与安全保密有关的重要信息，以防非法用户入侵，移动终端只有插入了 SIM 卡后才能接入 GSM 网络。

（2）基站子系统

基站子系统负责在一定区域内与移动台之间的无线通信，是连接 NSS 和 MS 之间的桥梁，只要完成无线信道管理和无线收发功能。BSS 主要包括基站控制器 BSC 和基站收发信台 BTS 两部分。

BSC 位于 MSC 和 BTS 之间，具有一个或多个 BTS 进行控制和管理的功能，主要完成无线信道的分配、BTS 和 MS 发射功率的控制以及越区信道切换等功能。

BTS 为基站子系统的无线收发设备，又受 BSC 控制，只要负责无线传输功能，完成无线与有线的转换、无限分集、无线信道加密、跳频等功能。

（3）网络子系统

网络子系统管理 GSM 移动用户之间的通信、GSM 移动用户与其他通信网用户之间的通信及安全。

① 移动交换中心是蜂窝通信网的核心，其主要功能是对位于本 MSC 控制区域内的移动用户进行通信控制和管理。

② 网关 MSC 在 MSC 之间完成路由功能，并实现移动网与其他网络的互联。

③ 归属位置寄存器 HLR 是一种用来存储本地用户位置信息的数据库。一个 HLR 可以覆盖几个 MSC 服务区甚至整个移动网络、

④ 访问位置寄存器 VLR 是一种用于存储来访用户位置信息的数据库。一个 VLR 通常为一个 MSC 控制区服务，也可为几个相邻 MSC 控制区服务。

⑤ 鉴权认证中心 AUC 是一个受到严格保护的数据库，存储用户的鉴权信息和加密参数。

⑥ 设备标识寄存器 EIR 是存储移动台设备参数的数据库，用于对移动设备的鉴别和监视，并拒绝非移动台入网。

⑦ 操作和维护中心 OMC 的任务是对全网进行监控和操作，例如系统的自检、报警与设备的激活、系统故障诊断与处理，以及各种资料的收集、分析与显示等。

3. GSM 系统的传输技术

GSM 系统采用的是全数字传输技术，其特点主要体现在多址方式、数字调制、数字语音编码等方面。

（1）多址方式

GSM 系统采用的是频分多址和时分多址的结合多址方式。

（2）数字调制技术

GSM 系统采用的是 GMSK 调制技术，调制的传输速率为 270.833kb/s。

（3）语音编码技术

GSM 系统采用 RPE-LTP 编码方案，每 20ms 输出 260b，因此传输速率是 13kbps。但它还需加上纠错编码。

6.3.4 CDMA 数字蜂窝移动通信系统

CDMA 系统是采用 CDMA 技术，具有大容量、高质量、综合业务、软切换、国际漫游等要求而设计的一种的数字蜂窝移动通信系统。

CDMA 技术的原理是基于扩频技术，即将需传送的具有一定信号带宽信息数据，用一个带宽远大于信号带宽的高速伪随机码进行调制，使原数据信号的带宽被扩展，再经载波调制并发送出去。接收端使用完全相同的伪随机码，与接收的带宽信号作相关处理，把宽带信号换成原信息数据的窄带信号即解扩，以实现信息通信。

1. CDMA 系统组成

CDMA 数字蜂窝通信系统可分为基站子系统（含 BTS 和 BSC）和移动交换子系统（含 MSC、EIR、VLR、HLR、AC），移动台（MC）和操作维护中心。

（1）基站子系统，基站控制器完成多个基站收发信机的移动管理功能和与交换分系统进行码型变换与接口的功能。

（2）移动交换子系统，MSC 完成交换功能和与固定网的接口功能；VLR 具有动态用户数据库的功能；HLR 具有中央数据库的功能；AC 完成系统安全性管理；EIR 确保系统内所用移动设备的唯一性和安全性。

（3）移动台，实现移动用户向无线链路的信息交换。

2. CMDA 系统的关键技术

CDMA 中关键技术包括同步技术、RAKE 接收技术、功率控制技术和软切换技术。

（1）同步技术

PN 码序列同步是扩频系统特有的，也是扩频技术中的难点。CDMA 系统要求接收机的本地伪随机码 PN 序列与接收到的 PN 码在结构、频率和相位上完全一致，否则就不能正常接收所发送的信息，接收到的只是一片噪声。若 PN 码序列不同步，即使实现了收发同步，也无法准备可靠地获取所发送的信息数据。因此，PN 码序列的同步是 CDMA 扩频通信的关键技术。

（2）RAKE 接收技术

移动通信信道是一种多径衰落信道，RAKE 接收技术就是分别接收每一路的信号进行调节，然后叠加输出达到增强接收效果的目的。

（3）功率控制技术

功率控制技术是 CDMA 系统的核心技术。CDMA 系统是一个自扰系统，所有移动用户都占用相同带宽和频率，远近效应问题突出。CDMA 功率控制的目的就是克服远近效应，使系统既能维持高质量通信，又不对其他用户产生干扰。

（4）软切换技术

软切换技术是 CDMA 系统中特有的一种技术。在软切换中，移动台与原基站和新基站都保持着通信链路，可同时与 2 个或多个基站通信。在软切换中，不需要进行频率的转换，而只有导频信道 PN 序列偏移的转换。软切换在 2 个基站覆盖区的交界处起到了业务信道的分集作用，从而可大大减少由于切换造成的通话中断，并因此提高了通信的质量。

6.4 第四代移动通信

6.4.1 第四代移动通信系统概述

随着人们对移动通信系统的各种需求与日俱增，目前投入商用的 2G 和部分投入商用的 3G 系统已经不能满足现代移动通信系统日益增长的高速多媒体数据业务的要求，许多国家已经投入到对 4G 移动通信系统的研究和开发中。

4G 通信技术并没有脱离以前的通信技术，而是以传统通信技术为基础，并利用了一些新的通信技术，不断提高无线通信的网络效率和功能。如果说 3G 为人们提供了一个高速传输的无线通信环境的话，那么 4G 通信将会是一种超高速无线网络，一种不需要电缆的信息超级高速公路，这种新网络可使电话用户以及无线及三维空间虚拟实境连接。

6.4.2 第四代移动通信系统的特点

1. 通信速度更快

4G 通信的最大特征是它具有更快的无线通信速率。2012 年国际电信联盟正式审议通过将 LTE-Advanced 和 WirelessMAN-Advanced（802. 16m）技术规范确立为 IMT-Advanced（俗称“4G”）国际标准，中国主导制定的 TD-LTE-Advanced 和 FDD-LTE-Advance 同时并列成为 4G 国际标准。标准中最高速率可以达到 1Gbps。

2. 网络频谱更宽

要想使 4G 通信达到超高速传输，通信营运商必须在 3G 通信网络的基础上，进行大幅度的改造和研究，以便使 4G 网络在通信带宽上比 3G 网络的蜂窝系统的带宽高出许多。估计每个 4G 信道会占有 100MHz 的频谱，相当于 W-CDMA3G 网络的 20 倍。

3. 智能性更高

4G 的智能性更高，其具有高度的自治性、自组织性。它将能自适应地进行资源分配，处理变化的业务流和适应不同的信道环境。

4. 兼容性能更平滑

要使 4G 通信尽快地被人们接受，还应该考虑到现有通信的基础，以便让更多用户在投资最少的情况下轻易地过渡到 4G 通信。因此，第四代移动通信系统应当具备全球漫游，接口开放，能跟多种网络互连，终端多样化以及能从第二代平稳过渡等特点。

5. 实现更高质量的多媒体通信

4G 通信提供的无线多媒体通信服务将包括语音、数据、影像等，大量信息透过宽频的信道传送出去，为此 4G 也成为“多媒体移动通信”。

6.4.3 4G 移动通信系统中的关键技术

1. 接入方式和多址方案

正交频分复用（OFDM）是一种无线环境下的高速传输技术，其主要思想就是在频域内将给定信道分成许多正交子信道，在每个子信道上使用一个子载波进行调制，各个子载波并

行传输。

2. 调制与编码技术

4G 移动通信系统采用新的调制技术,如多载波正交频分复用调制技术以及单载波自适应均衡技术等调制方式,以保证频谱利用率和延长用户终端电池的寿命。

3. 软件无线电技术

软件无线电是将标准化、模块化的硬件功能单元经过一个通用硬件平台,利用软件加载方式来实现各种类型的无线电通信系统的一种具有开放式结构的新技术。

4. 高性能的接收机

4G 移动通信系统对接收机提出了很高的要求。香农(Shannon)定理给出了在带宽为 BW 的信道中实现容量为 C 的可靠传输所需要的最小 SNR。按照 Shannon 定理,可以计算出,对于 3G 系统,如果信道带宽为 5MHz,数据速率为 2Mbps,所需的 SNR 为 1.2dB;而对于 4G 系统,要在 5MHz 的带宽上传输 20Mbps 的数据,则需要的 SNR 为 12dB。

5. 智能天线技术

智能天线具有抑制信号干扰、自动跟踪以及数字波束调节等智能功能,被认为是未来移动通信的关键技术。

6. 新的调制和信号传输技术

在高频段进行高速移动通信,将面临严重的选频衰落。为提高信号性能,应研究和发展智能调制和解调技术,以有效抑制这种衰落。例如正交频分复用技术(OFDM)、自适应均衡器等。

到 2013 年,全世界手机上网用户数量将超过使用计算机上网的用户数量,达到 17.8 亿,人类将迎来人与物、物与物之间互联的物联网时代,“随时、随地、无所不在”将成为移动通信的基本特征。中国移动已经全面启动 4G 网络建设。其中包括:2013 年开始在国内 100 个城市进行 TD-LTE(中国 4G 技术标准)设备采购,2013 所建成 TD-LTE 基站规模超过 20 万个,新建基站 18 万个,这一投资总额将达到约 1800 亿元。

6.5 物联网中的通信网

6.5.1 物联网的内涵

物联网指的是将各种信息传感设备,如射频识别(RFID)装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等种种装置与互联网结合起来而形成的一个巨大网络。它打破了传统思想,实现了物体的智能化,使得每个物体都可被追踪、控制和操纵,物联网是人类社会信息化的产物,不仅将物与人、物与物紧密相联,还把机器和机器之间的通信囊括其中。

6.5.2 物联网与移动通信网的融合发展

物联网由部署在观察区域内大量的微型传感器节点组成,通过无线通信方式形成多跳的自组织网络系统,目的是协作感知、采集网络覆盖区域中感知对象的信息,并传送给观察者。从传感网的发展历程来看,无线通信网与传感网融合是必然趋势。移动通信网络的泛在性、覆盖的广域性、终端的移动性,以及对终端的智能管理(位置、时间、服务质量),必将成

为物联网发展中的最重要的基础。

物联网的发展离不开通信网络的支持，目前中国移动的TD-SCDMA网络将为物联网的发展提供良好的平台。TD-SCDMA是我国第一个具有自主知识产权的3G标准，目前网络建设已初具规模。TD高速移动数据传输为物联网应用拓展了新空间，能够提供图像处理、音乐、多媒体、电子商务等多项服务。TD是中国提出的，已成为国际标准，抗干扰、安全通信、保密性好，加上有了自主开发的芯片、终端和系统，使得我国的信息安全有了保障。同时，还有了TD-LTE的长期演进方案，TD与物联网的融合将解决传感网发展的瓶颈：能源、延时、带宽、规模和安全问题。TD网能最大限度地保障传感网的安全；TD与传感网的融合能带动上下游产业链的整体发展；TD特有的高频谱利用率可支持超大规模的物联网应用；TD网非对称传输模式为传感应用提供了灵活的数据传输能力；提供电信服务和QoS保证；中国移动通信公司制定的无线传感规范能降低应用成本，促进产业发展。

目前我们建议的一种移动通信网络与物联网"N网合一"的网络结构如图6-5-1所示。在物联网的接入承载网络，可以通过热点区域的WLAN、城区的TD-SCDMA网络来可靠地传输信息。广域范围可以通过EDGE网络负载，达到可靠传送、方便传送、可随时随地接入的目的。

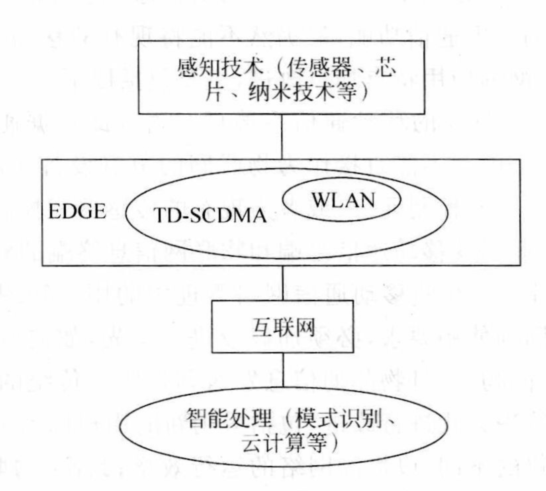


图6-5-1 移动通信网络与物联网"N网合一"的网络结构

6.5.3 移动通信在物联网中的应用

由于物联网信息节点的广泛性和移动性，决定了各种无线通信技术将是物联网的主要联网技术。同时随着第三代移动通信的不断发展和普及，现代移动通信网络的数据通信功能日益强大，已经投入应用的4G通信网络支持的业务范围更加广泛。因此，现代移动通信网络为物联网的实现提供了很好的物质基础，移动通信系统必将在物联网的组网过程中得到广泛应用。

1. 移动通信在物联网中应用的主要方式

移动通信系统一般由移动终端、传输网络和网络管理维护等部分组成，因此移动通信在物联网的应用主要包括以下几个方面。

（1）移动通信终端在物联网中的应用。移动通信系统的移动终端作为信息接入的终端

设备,可以随网络信息节点移动,并实现信息节点和网络之间随时、随地通信。对比移动通信终端和物联网节点信息感知终端的功能和工作方式可知,移动通信终端完全可以作为物联网信息节点终端的通信部件使用。

(2) 移动通信传输网络在物联网中的应用。移动通信系统的传输网络主要实现各移动节点的相互联接和信息的远程传输,而物联网中的信息传输网络也是完成相类似的功能。因此,完全可以将现有的移动通信系统的信息传输网络作为物联网的信息传输网络使用,也即可以将物联网承载在现有的移动通信网络之上。

(3) 移动通信网络管理平台在物联网中的应用。移动通信网络的网络管理维护平台主要用来实现对网络设备、性能、用户及业务的管理和维护,以保证网络系统的可靠运行。为了保证信息的安全、可靠传输,物联网同样需要相应的管理维护平台以完成与物联网相关的管理维护功能。因此,完全可以将移动通信网络管理维护的相关思想、架构应用到物联网的网络管理和维护上。

2. 移动通信应用于物联网应做的主要改进

虽然移动通信网络和物联网的结构类似、功能相近,可以将移动通信系统广泛应用到物联网之中,但是现在的移动通信系统毕竟主要是为语音通信设计的,第三代及后继的移动通信系统尽管增强了系统的数据通信功能,但仍然不能将现有的移动通信系统直接作为物联网使用,而必须根据物联网的使用特点加以改进,主要包括以下两方面。

(1) 移动终端的改进。现在的移动通信终端只有语音或数据通信功能,还不具有信息感知和对物品的控制功能,因此不能直接作为物联网的节点设备使用。可以通过在移动通信终端中增加相应的传感器和控制元件,或者为现有的传感器和控制器增加移动通信功能,对移动终端加以改进,从而实现移动通信终端和物联网信息终端的融合。

(2) 网络管理的改进。现在的移动通信网络管理中的用户管理、信息传输管理和业务管理都还不能满足物联网的使用要求,必须加以改进。首先,如前所述,物联网中用户不仅包括人,还包括数量更多的物品,且物品的信息发送和接收与传统的用户具有不同的特点,因此必须对现有的用户管理方式进行改进,包括采用新的用户标示手段以增加用户容量,并区分物品用户和人员用户的不同,以提高网络的运行效率;其次,物联网对信息传输的安全性和可靠性要求都非常高,这就要求必须改进现在移动通信网络中信息传输的管理方式,以提高其安全性和可靠性;最后,必须为物联网用户不断开发新的业务,并对新的物联网业务进行高效的管理。

6.5.4 物联网依托于通信领域的广泛应用

物联网的最终目的是实现人类社会与自然界物理系统的整合,在整合过程中,要用到能力超级强大的中心计算机群,对整合网络内的人员、机器、设备和基础设施进行实时的管理和控制。在此基础上,人类可以以更加精细和动态的方式管理日常生产和生活,以达到"智慧"状态,从而提高资源利用率和生产力水平,改善人与自然间的关系。

发展物联网,离不开电信运营商。一方面,电信网络,对于物联网而言是不可或缺的核心平台,是构建起整个物联网的支柱。从万物获得的信息,需要通过无边界的传递和运营,将其价值最大化。在广域的信息传递中,电信网络既是最成熟用的,也是最稳定可靠的,并且伴随着不断的升级换代而有能力完成海量信息的传递和运营。另一方面,电信运营商将

成为信息运营的主角。信息运营将成为物联网产业的核心，将是未来的物联网产业直接面向用户的窗口，在整个物联网产业中都将起到举足轻重的作用，而只有电信运营商才能扮演好这一角色。电信运营商除了能够提供基础网络服务，还可以提供业务能力服务、IT设施服务、支撑能力服务，并利用其完善的服务手段、技术手段、公信力和客户群在物联网发展中扮演关键角色。

支持物联网通信的电信网络系统包括以下几个结构。

(1) 物联网终端层

物联网终端层包括物联网末梢网络、物联网网关和终端设备。

物联网末梢网络是由传感器节点组成的传感器网络，其目的是协作的感知、采集网络覆盖范围内监测对象的相关信息，并将监测数据发送给网关，由网关将感知数据提供给用户，以由后者进行分析和处理。

物联网网关负责连接无线传感器网络和电信网络，主要完成无线传感器网络配置与组网、协议转换、地址映射和数据转发等功能，也可以集成安全和计费等功能。

物联网终端设备是具有通信功能的终端，它直接接入通信网络，能够接收远程物联网平台的控制信息。

(2) 通信网络层

通信网为各种物联网终端设备和网关提供接入到物联网平台的功能，并提供物联网数据承载功能。

(3) 物联网平台层

物联网平台支持多种网络接入方式，为使用物联网应用服务的客户提供统一的物联网终端管理、终端设备鉴权，物联网平台提供标准化的接口使得数据传输简单直接，并提供数据管理、路由寻址、终端管理，鉴权认证、QoS控制等功能。

(4) 物联网应用层

物联网应用平台通过开放的接口与物联网平台进行通信，为用户提供各种应用服务，例如健康医疗、智能家居、车队管理等。

(5) 管理支撑系统

管理支撑系统提供用户资料管理、计费、出账、结算等功能。

6.5.5 物联网业务对移动通信网络的需求

从物联网的网络构架中可以看出，承载网络层是运营商的关键控制点，实体通信网络主要包括互联网与移动通信网络等。承载网络层主要确保网络的连通性，能够支撑互联网的网络协议以及为语音和数据提供低费高效的传输通道。为了接入大量的物联网类型业务，移动通信网络需要具备以下特性。

(1) 接入泛在性：广域覆盖、灵活接入；

(2) 承载宽带化：大容量、高带宽、多业务承载；

(3) 安全性：信号安全、接入安全。

1. 接入泛在性

全面的信息采集是物联网的基础，传感技术采集到的物体特征信息需要通过承载网络把信息传递到处理单元，这就要求承载网络“无所不在”，能够随时随地接入被采集的信息。

物联网的应用可大致分为监控型(视频监控、环境监测)、查询型(远程抄表、物流查询)、控制型(智能交通、路灯控制)、扫描型(手机钱包)等几大类。不同应用的特性及对 QoS 的需求也有所不同,如表 6-5-1 所示。

表 6-5-1 不同物联网应用的特性及对 QoS 的需求

业务		移动性	时延	流量	在线时间
监控型	视频监控	否	敏感	大	永远
	环境监控	否	敏感	大	永远
查询型	远程抄表	否	不敏感	小	短
	物流查询	是	不敏感	小	短
控制型	智能交通	是	敏感	小	永远
	路灯控制	否	不敏感	小	短
扫描型	手机钱包	是	敏感	小	短

从表 6-5-1 可以看出,不同物联网应用对承载网络的承载要求存在较大差异,因此能够全面接入并承载所有物联网应用的承载网络必须具备无缝的广域覆盖、灵活的接入手段。而移动通信网络凭借有线通信无法比拟的可移动性、快速灵活部署等特点,为物联网人与物、物与物之间的畅通通信创造了基础条件。

目前中国移动通信公司正在推进 TD-SCDMA 网络的建设,无论从网络规模还是覆盖范围来说都已初具规模。TD-SCDMA 作为我国第一个具有自主知识产权的 3G 标准,可满足物联网的网络覆盖需求,也可利用其高速移动数据传输实现传感网络之间,以及与业务平台的互联。TD-SCDMA 网络覆盖广、频谱利用率高、电信服务质量稳定,并逐步向 TD-LTE 长期演进,可以作为物联网的主要承载网。除此之外,GSM、WLAN 和有线接入作为 TD-SCDMA 网络的有效补充,综合使用有线和无线、宽带和窄带多种接入手段,差异化地满足各种物联网应用的接入需求。

TD-SCDMA 网络基本能够满足移动场景下中等流量物联网业务的接入,主要对应表 6-5-1 中的查询型、控制型和扫描型业务。如果是以视频监控为主的流媒体业务,由于此类业务一般需要上传视频信号,对带宽和时延要求较高,因此在 TD-SCDMA 网络暂不支持 HSUPA 的阶段,通过有线(如 x PON 网络)或 WLAN 接入较为合适。

2. 承载宽带化

现有的通信网络是以承载人与人的通信为主的,其设计和建设都是围绕着人的通信模式进行;但进入物联网发展的时代后,不仅会产生大量的与人的通信截然不同的通信节点,而且还会产生海量的数据信息,这必然对承载网络带来压力。因此要求承载网络必须可运营、可管理、宽带化。移动通信网络作为电信的运营网络,是承担这一角色的最佳选择。

3. 安全性

物联网中人与物、物与物之间的互联,大量信息采集和交换设备的使用,使得信息安全和隐私保护成为亟待解决的问题。移动通信网络经过多年商用的实践检验,其本身的安全性已有创造性的进步,其承载物联网业务主要考虑以下两个方面的安全问题。

（1）信号安全

物联网实现过程中所采用的射频等无线信号是信息的载体，一旦安全受到威胁，则带来的影响将是灾难性的。移动通信网络作为承载网络，移动通信运营商在未来大规模传感网络的部署方面也应有所作为。

① 物联网广泛部署的传感器通过射频无线信号进行信息采集、处理、传输和响应。这种暴露在开放空间的传感设备信号存在互扰和被恶意干扰的可能，一旦发生此类现象，则会导致安装了 EPC 标签的物品失控。

② 随着物联网的普及，将会有更重要的、更敏感的部门依赖于物联网，当它们的传感设备信号被截获时，就会存在重要信息被窃取或篡改的可能，这对金融、交通、能源、气象，乃至军事、安全部门的威胁尤其严重。

解决对策主要有如下方面。

① 合理规划，管理和使用好频谱资源，适度开放频谱。近百年来，无线通信技术发展迅猛，而目前频谱管理原则却仍停留不前。很多频谱分配给特定用户独享，实际利用率很低，因此造成了极大的浪费。随着扩频通信、无线局域网、蓝牙、ZigBee、超宽带等共享频谱的无线通信技术的大规模应用，频谱管理机构应该通过合理规划管理好频谱来引领技术进步，使产品研发走上正确轨道，以应对未来的物联网无线传感器网络的大规模普及应用。

② 研究包括新型调制与编码技术、自适应跳频技术、信道调度技术，功率控制技术、Mesh 网络路由技术、互联技术、共存技术与优化技术等一系列通信与组网技术。

（2）接入安全

物联网利用无线射频识别技术实现的射频 IC 卡、读卡器之间通过天线进行的通信、表征物品信息的 RFID 代码信号通过无线的方式进行的传输等，这些信息一旦被非法获取甚至篡改，就会导致各类安全问题，对系统安全和网络用户构成威胁。移动通信运营商可以将产业链下移，积极介入无线传感网络的安全领域。

RFID 系统中的安全考虑主要基于匿名性、不可链接性和数据加密 3 个方面。匿名性就是保证攻击者不能根据 RFID 系统内的数据来追溯用户；不可链接性就是保证不能根据 RFID 系统内的数据追溯系统之前用户的行为记录；数据加密就是保障 RFID 系统中的数据安全。因此，实现 RFID 系统信息安全性的对策主要为采用加密的 SIM 卡技术。SIM 卡可以确保物理实体间的通信在网络中可靠传输。此外，SIM 卡技术还要在底层接口方面有所突破，一是 SIM 卡和无线通信模块间的接口，用于机卡信息交互，远程数据传输；二是 SIM 卡具备感知能力和接口，支撑物联网进行更全面的感知等。

移动通信网络开放接口的无线链路最易遭受攻击，因此接入安全是物联网规模应用的必要条件。目前，TD-SCDMA 在网络接入安全机制上提供 4 个方面的安全特性，同样可以保障承载物联网业务的安全：

① 对象标识的保密性：包括对象标识的保密、对象位置的保密以及用户的不可追踪性，保护对象的私密性；

② 实体认证：包括用户认证和网络认证，防止非授权访问；

③ 加密：包括加密算法协商、加密密钥协商、数据的加密和信令数据的加密；

④ 数据完整性：包括完整性算法协商、完整性密钥协商、数据完整性和数据源认证，防篡改抗抵赖。

随着物联网的全面发展，各种不同无线通信技术与网络结构不断融合，包括无线传感器网络、RFID网络、移动车载网络、手机网络、3G通信网络、WiMax通信网络及有线宽带等，通信网络环境变得越来越复杂，其承载各类业务的基础网络安全性问题将比现有网络系统更加复杂和难以解决。物联网的安全是一项巨大的系统工程，网络安全体系是在通信系统架构确立之后产生的，多种复杂异构的通信系统会由于自身特性对整体安全问题带来影响。因此物联网内实体间的信任关系、前端无线接入的认证和安全通信、安全业务及安全体系的扩展成为重要的研究热点。

对于物联网的安全来说，各种不同无线通信技术与网络结构不断融合使得物联网不仅要面临既有的互联网安全威胁，还因为开放的、无所不在的无线接入具备新的安全特性，需要重新考虑物联网的安全架构。目前还没有专门研究针对3G接入物联网安全架构，无线传感器网络与3G网络的融合也出于起始研究阶段。3G通信网终的安全技术与无线传感器网络的安全技术是独立分开的，同时无线传感器网络的认证和密钥管理等安全机制都没有形成国际标准，迫切需要建立物联网安全架构，提出跨网络架构的实体认证技术和隐私保护技术标准，实现物联网安全通信的基本保障。

6.5.6 物联网业务对通信网络的影响

从物联网对移动通信网的影响来看，移动通信网的发展可以分为三个阶段。

初期为管道阶段。该阶段处于物联网业务发展初期，接入终端较少，终端围绕数据采集开展应用，服务对象主要是一些专业行业。此阶段属于小规模设备联网阶段，利用现有网络基础的闲置能力就可以满足信息传输要求，移动通信网不需要区分人与物的不同通信需求，因此网络不需要感知设备，物联网应用对电信网络没有影响，电信网络基础设施只提供信息传输通道。

中期为网络增强阶段。在该阶段应用得到扩展，从行业扩展到个人，联网设备大量增加，现有网络基础设施已不能满足需求。移动通信网需要为物联网设备进行优化(低移动性、低数据率等)，感知设备，根据设备能力和要求提供相应的网络能力。

后期为融合阶段。该阶段主要增加了人与物、物与物通信的能力，依托数据监测、远程控制和数据获得的各种组合应用大量涌现，大规模联网设备，需要满足人与人、人与物、物与物的融合通信和应用需求。当前正处于初期和中期的转换阶段，网络要适应物联网业务的发展就必须进行有效的增强。

1. 物联网的业务特征

采用通信网络作为物联网的数据传输方式已经成为业界达成的共识。通信网络具有覆盖范围广、可靠性高等天然优势，因此，如何更加有效地利用通信网络资源以便于开展物联网通信已经成为最迫切的现实需求。同时我们知道，每一种物联网应用都有不一样的业务特性，每一种网络优化方法也不会都适合每个物联网应用，因此，我们研究当前和未来规模部署物联网的典型应用场景，要对不同典型场景下的物联网业务特征进行分析研究，对物联网应用的业务需求进行梳理，提炼出具有导向性的业务特性类别，每种特性都可以单独被激活或去激活，以满足不同物联网应用的需求。目前，物联网的典型业务特性主要包括如下几个方面：

(1) 终端数量巨大；

(2) 只有数据业务;

(3) 低数据量传输;

(4) 低移动性;

(5) 基于群组的管理;

(6) 时间可控性;

(7) 非经常性传输数据。

2. 针对物联网的通信网络优化方向

目前,针对物联网的通信网络优化主要针对以上几个方面的物联网业务特性开展研究。

(1) 物联网业务模型优化

在设计针对电信网业务的通信系统时,通常只考虑针对电信网业务进行系统仿真,如VoIP业务模型、FTP业务模型、TCP业务模型、HTTP业务模型、流媒体业务模型。同时,以往的通信系统针对H2H(human to human)终端的典型分布位置和密度进行优化,而物联网终端的使用环境和数据密度与H2H业务有明显差异,如单位面积下可能有海量部署,使用地域比手机更广泛等。

这样,基于电信网业务模型的仿真无法准确评估物联网系统的性能。因此,构造针对物联网典型业务的业务流量模型,将对物联网系统的设计提供重要的依据。

(2) 物联网海量终端接入优化

海量终端是物联网系统的重要特征。例如,小区居民家中安装的自动抄表系统。在小范围内可分布大量的传感器。当定期向管理部门上传采集数据时,分布在小区的大量物联网终端几乎同时向控制中心发送数据。此时,控制中心将会同时接收到大量物联网设备的网络接入请求,如果沿用H2H系统的随机接入机制,这些大量突发的接入请求将占用大量的资源,甚至造成普通UE(User Experience)无法接入。

因此,针对物联网通信在接入过程中出现的新特点和新问题,应综合考虑不同类型的系统结构和多种业务特征,以减少对传统通信网络性能的影响为目标,对支持物联网的接入控制方案展开深入研究。

6.5.7 移动通信在物联网中应用的现状与展望

如前所述,覆盖地域广泛的移动通信网络系统为人们提供了随时随地进行信息联网传输的手段,物联网则为人们描绘了对实物世界进行更加智能化管理的美好前景,将移动通信技术应用于物联网中的信息接入和传输,实现移动通信网和物联网的有机融合,无疑既能极大地促进物联网的普及应用,又能为移动通信网络拓宽应用业务范围。实际上,现在的移动运营商已经将移动通信技术和系统应用到物联网之中,利用现有的移动通信网络开展形式多样的物联网业务:如现在各运营商利用移动通信网络开展的移动支付业务、物流行业基于移动通信网络的车辆/货物智能管理系统,以及运营商与汽车制造商合作推出的基于移动通信系统的车载信息网络等,都是将移动通信技术应用到物联网的现实。虽然现在已经有了一些移动技术和物联网的融合应用,但是大都局限于一些特定行业,还远没有普及进入人们的日常生活之中。究其原因,主要在于两个方面:一是缺乏统一的相关标准对市场进行规范和引导,这是移动技术和物联网大规模融合应用首先需要解决的主要问题;二是能够吸引大众的具体业务还有待于研究和开发,同第三代移动通信的发展普及相类似,缺乏有足够

吸引力的具体应用业务是影响移动通信大规模应用于物联网的另一个主要因素。我们有理由相信，上述两方面的问题解决之后，移动通信和物联网的融合应用必会得到迅速的发展和普及。

综上所述，如何基于通信网络开展物联网业务需制定完善的解决方案。需要研究如何在最大限度地改善通信网络资源的使用效率的同时，尽可能地减小对通信网络的影响，以使得针对物联网的通信网络优化复杂度降到最低的水平。

6.6 本章小结

本章在介绍通信网的基础上，分别介绍了固定通信网和移动通信网各自的构成、技术以及其功能，重点介绍了移动通信的发展和关键技术，在剖析了物联网内涵的基础上，进一步介绍了未来物联网业务对移动通信网络的技术需求、影响和应用移动通信在物联网中的应用以及对未来移动通信网在物联网中的应用展望。

习题

1. 什么是通信网？
2. 通信网的构成要素是什么？
3. 通信网具有哪些基本结构？
4. 固定通信网有哪些拓扑结构？
5. 什么是电路交换？电路交换和其他技术相比具有哪些优点？
6. 什么是报文交换？报文交换和其他技术相比具有哪些优缺点？
7. 什么是分组交换？分组交换有哪些具体的实现方式？
8. 固定通信网的服务质量由哪些指标衡量？
9. 什么是移动通信？具有哪些特点？由哪些部分组成？
10. CDMA 系统包含哪些部分？有哪些关键技术？
11. 4G 有哪些特点？包含哪些关键技术？
12. 物联网类型业务对移动通信网络有哪些需求？

第 7 章

无线网技术

7.1 无线网络概述

无线网技术涵盖的范围很广，既包括允许用户建立远距离无线连接的全球语音和数据网络，也包括为近距离无线连接进行优化的红外线技术及射频技术。通常用于无线网络的设备包括便携式计算机、台式计算机、手持计算机、个人数字助理(PDA)、移动电话、笔记本式计算机和寻呼机等。无线技术用于多种实际用途。例如，手机用户可以使用移动电话查看电子邮件；使用便携式计算机的旅客可以通过安装在机场、火车站和其他公共场所的基站连接到 互联网；在家中，用户可以连接桌面设备来同步数据和发送文件。

物联网要做到世界上任何物体皆有址可寻，大到邮轮、火车、飞机，小到温度/湿度/压力传感器、微处理器、微控制器都将连成一个整体。并且物联网将物理世界和信息世界归一化，从信息的采集，到决策的制定和执行要一体化，因此更高速、更可靠、更廉价及普及的点对点互联、信息传输手段是物联网所必需的。以覆盖范围较广、传输速度较快为特点的无线宽带技术势必在物联网时代扮演重要的角色。

7.1.1 无线网络分类

按照覆盖范围的大小，宽带无线网络可以分为：无线城域网(wireless metropolitan area network，WMAN)、无线局域网(wireless local area network，WLAN)和无线个域网(wireless personal area network，WPAN)。由于应用场合和设计目标的不同，它们的 QoS 划分也各不相同，MAC 层的 QoS 保障机制也有很大的差异。以下对这三种网络的标准分别加以介绍。

7.1.2 无线城域网

无线城域网的通信距离比较大，是一种可以用来取代光纤接入的高速接入网技术，它以提供高质量的无处不在的通信连接为目标。现有的无线城域网标准主要是 IEEE(美国电子和电气工程师协会)802.16 和 802.20。IEEE802.20 是支持高速移动的城域网标准，工作在 3.5GHz 以下的执照频带，支持高达 250km/h 高移动性车载通信，与 802.16e 有融合的趋势。

IEEE802.16 采用类似蜂窝的服务区结构，将需要提供业务的地区划分为若干个服务区，典型服务区半径为 4～6 英里。在服务区内设基站(BS)，经点到多点无线链路与服务区内的多个固定用户终端(SS)通信，采用面向连接的中央控制接入方式。基站一般采用多扇

区覆盖技术，通过无线链路或光纤接入骨干网，完成骨干网与无线传输之间的信号转换，用户终端一般采用口径很小的室外定向天线与基站进行通信。

IEE802.16 工作在 10～66GHz 视距传输频段和 2～11GHz 非视距传输频段，最高传输速率可达 100Mbps 以上，针对不同的工作频段采用不同的物理层协议。随着系统工作频率范围的扩大和服务要求的增加，MAC 层增加了自动重传请求（ARQ）机制，大大缓解了无线链路上的干扰对系统的影响，增强了无线网络的端到端传输性能。它灵活地支持 TDD 和 FDD 两种双工方式，根据业务量的需求动态分配带宽。为了在各种信道环境下提供可靠的性能，802.16 物理层还具备以下一些特点：灵活的信道宽度（例如 3.5MHz、5MHz 和 10MHz 等）、自适应突发信号轮廓（burst profile），采用 RS 码与卷积码级联的前向纠错、先进天线系统（AAS）、动态频率选择（DFS）和空时编码（STC）。这些无线链路空中接口规范共同为业务的 QoS 性能提供保障。

7.1.3 无线局域网

现有无线局域网标准有 IEEE 802.11 系列标准、欧洲的 HiperLAN1/HiperLAN2 和日本的 MMAC 系列标准。本文将主要介绍 IEEE 802.11 系列标准。

IEEE 802.11 系列标准工作于 2.4GHz 和 5GHz 频段。1997 年提出的 802.11 标准工作在 2.4GHz 频段，物理层采用红外（IR）、直接序列扩频（DSSS）或跳频扩频（FSSS）技术，最高数据率可达 2Mbps。为满足日益发展的业务对高数据率的要求，IEEE 在 1999 年相继推出了 802.11b 和 802.11a 两个物理层标准。802.11b 标准工作于 2.4GHz ISM（industrial, science and medial）开放频段，采用直接序列扩频或补码键控（CCK），能够支持 5.5Mbps 和 11Mbps 两种速率，可以与速率为 1Mbps 和 2Mbps 的 802.11DSSS 系统交互操作，但不能与 1Mbps 和 2Mbps 的 802.11FHSS 系统交互操作。802.11a 工作于 5GHz 频段（在美国为 U-N 11 频段：5.15～5.25GHz，5.25～5.35GHz，5.725～5.82GHz）。它采用正交频分复用（OFDM）技术，有 52 个子载波，采用 BPSK/QPSK、16QAM、64QAM 等调制方式。前向纠错码采用编码速率为 1/2、2/3 或 3/4 的卷积码，可支持数据速率为 6Mbps、9Mbps、12Mbps、18Mbps、24Mbps、36Mbps、48Mbps 和 54Mbps。但它与 802.11b 不兼容且成本较高。2001 年年底又通过了 802.11g 试用混合方案，它工作于 2.4GHz ISM 频段，采用 OFDM 技术，可实现最高 54Mbps 的数据速率，与 802.11b 标准兼容，还较好地解决了 WLAN 和蓝牙的相互干扰。

7.1.4 无线个域网

无线个域网是为活动半径小、业务类型丰富的特定群体提供无缝连接的无线通信网络技术。目前研究 WPAN 的组织有 Bluetooth SIG，IEEE，ITU，Home RF 等。WPAN 的技术多种多样，为大家所熟悉的技术有：IEEE802.15 家族、Bluetooth、IrDA、Home RF、RFID、ZigBee 等。下面以 IEEE802.15 家族为例介绍 WPAN。

IEEE802.15 家族规定了无线个域网的物理层和 MAC 层规范。IEEE802.15.1 标准本质上只是蓝牙底层协议的一个正式标准化版本，它的网络拓扑基于 Ad hoc 网络模式，建立点对点或点对多点的连接。主动发起组网连接请求的设备称为主设备（master），而连接响应方为从设备（slave）。一个蓝牙网络由一个主设备和一个或多个从属设备构成每个独立

的同步蓝牙网络被称为一个微微网(pico-net)。微微网是实现蓝牙无线通信的最基本方式，多个微微网在时间空间上相互重叠构成散射网(scatter-net)。蓝牙的标准使用跳频(FH)技术作为信号的通信方式以克服无线通信的多路径衰减及共频道干扰。它工作在2.4GHz的ISM频段，最高数据速率可达20Mbps。它还引入功率节省模式，采用快跳频、短分组抗干扰通信技术，并通过FEC和快速ARQ实现链路差错控制，提供可靠传输。IEEE802.15.2主要解决WPAN与其他无线设备在ISM频段的共存问题。IEEE802.15.3负责开发高速率(大于20Mbps)的WPAN标准。它的物理层工作在2.4GHz ISM频段。目前，该项目组已经在超宽带(UWB)方面取得了很大进展，传输速率已经达到55Mbps，最终将达到480Mbps。IEEE802.15.4是低速率、低功耗、短距离的WPAN IEEE标准，适用于无线传感器网络及基于微控制的应用。它提供两种物理层选择(868/915MHz和2.4GHz)，采用DSSS技术，2.4GHz频段的数据速率为250kbps。868/915MHz频段的数据速率为20kbps或40kbps。

WPAN与WLAN之间存在多方面的不同：WPAN的功率和价格比WLAN低：典型的WPAN覆盖范围一般在10m以内，而WLAN的典型范围一般为50～100m，有些WLAN甚至到数公里；WPAN的速率普遍低于WLAN(802.15.3除外)；WPAN主要用于家居以及个人工作环境(person operating space，POS)，而WLAN主要用于公司办公环境。

7.1.5 无线网络标准

无线网络常见标准有以下几种。

(1) IEEE 802.11a：使用5GHz频段，传输速率54Mbps，与802.11b不兼容。

(2) IEEE 802.11b：使用2.4GHz频段，传输速率11Mbps。

(3) IEEE 802.11g：使用2.4GHz频段，传输速率主要有54Mbps、108Mbps，可向下兼容802.11b。

(4) IEEE 802.11n草案：使用2.4GHz频段，传输速率可达300Mbps，目前标准尚为草案，但产品已层出不穷。

目前IEEE 802.11b最常用，但IEEE 802.11g更具下一代标准的实力，802.11n也在快速发展中。

IEEE 802.11b标准含有确保访问控制和加密的两个部分，这两个部分必须在无线LAN中的每个设备上配置。拥有成百上千台无线LAN用户的公司需要可靠的安全解决方案，可以从一个控制中心进行有效的管理。缺乏集中的安全控制是无线LAN只在一些相对较小的公司和特定应用中得到使用的根本原因。

IEEE 802.11b标准定义了两种机理来提供无线LAN的访问控制和保密：服务配置标识符(SSID)和有线等效保密(WEP)。还有一种加密的机制是通过透明运行在无线LAN上的虚拟专网(VPN)来进行的。

无线LAN中经常用到的一个特性是称为SSID的命名编号，它提供低级别上的访问控制。SSID通常是无线LAN子系统中设备的网络名称；它用于在本地分割子系统。

IEEE802.11b标准规定了一种称为有线等效保密(或称为WEP)的可选加密方案，它提供了确保无线LAN数据流的机制。WEP利用一个对称的方案，在数据的加密和解密过程中使用相同的密钥和算法。

下面我们主要介绍 WiFi、WiMax、蓝牙、红外、ZigBee 等。

7.2 WiFi

WiFi 的全称是 wireless fidelity，即无线保真技术。与蓝牙技术一样，WiFi 同属于在办公室和家庭中使用的短距离无线技术。该技术使用的是 2.4GHz 附近的频段，该频段目前尚属没有许可的无线频段。其目前可使用的标准有两个，分别是 IEEE802.11a 和 IEEE802.11b。802.11b 有时也被错误地标为 WiFi，实际上 WiFi 是无线局域网联盟(WLANA)的一个商标，该商标仅保障使用该商标的商品互相之间可以合作，与标准本身实际上没有关系。但是后来人们逐渐习惯用 WiFi 来称呼 802.11b 协议。

IEEE802.11b 无线网络规范是 IEEE 802.11 网络规范的变种，最高带宽为 11Mbps，在信号较弱或有干扰的情况下，带宽可调整为 5.5Mbps、2Mbps 和 1Mbps，带宽的自动调整，有效地保障了网络的稳定性和可靠性。其主要特性为：速度快，可靠性高，在开放性区域，通信距离可达 305m，在封闭性区域，通信距离为 76m 到 122m，方便与现有的有线以太网络整合，组网的成本更低。该技术由于有着自身的优点，因此受到厂商的青睐。

WiFi 突出优势有很多，其一，无线电波的覆盖范围广，基于蓝牙技术的电波覆盖范围非常小，半径大约只有 50 英尺左右，约合 15m，而 WiFi 的半径则可达 300 英尺左右，约合 100m，办公室自不用说，就是在整栋大楼中也可使用。其二，虽然由 WiFi 技术传输的无线通信质量不是很好，数据安全性能比蓝牙差一些，传输质量也有待改进，但传输速度非常快，可以达到 11Mbps，符合个人和社会信息化的需求。其三，厂商进入该领域的门槛比较低。厂商只要在机场、车站、咖啡店、图书馆等人员较密集的地方设置“热点”，并通过高速线路将因特网接入上述场所。这样，由于“热点”所发射出的电波可以达到距接入点半径数十米至 100m 的地方，用户只要将支持无线 LAN 的笔记本式计算机或 PDA 拿到该区域内，即可高速接入因特网。厂商不用耗费资金来进行网络布线接入，从而节省了大量的成本。

WiFi 在掌上设备上应用越来越广泛，而智能手机就是其中一分子。与早前应用于手机上的蓝牙技术不同，WiFi 具有更大的覆盖范围和更高的传输速率，因此 WiFi 手机成为目前移动通信业界的时尚潮流。由于 WiFi 的频段在世界范围内是无须任何电信运营执照的免费频段，因此 WLAN 无线设备提供了一个世界范围内可以使用的，费用极其低廉且数据带宽极高的无线空中接口。用户可以在 WiFi 覆盖区域内快速浏览网页，随时随地接听拨打电话。而其他一些基于 WLAN 的宽带数据应用，如流媒体、网络游戏等功能更是值得用户期待。下面我们主要介绍 WiFi 的物理层实现。

7.2.1 WiFi 的物理层实现

IEEE802.11b 中定义了三种不同类型的物理层实现，即红外线、跳频扩谱 (FHSS)和直接序列扩谱(DSSS)。红外线保密性好，但红外线对非透明物体的透过性极差，这导致传输距离受限。FHSS 系统采用 83.5MHz 带宽中相隔 1MHz 的 79 个频点(北美、欧洲大部分国家)，跳频模式分为三组，每组有 26 个跳频模式。跳频次数由各国主管部门决定。数据速率为 1Mbps 时采用 2GFSK，2Mbps 时采用 4GFSK。由于 GFSK 具有恒包络特性，可使用非线性功率放大器，故容易实现，成本较低。DSSS 系统在 1Mbps 和 2Mbps 时采用长度为

11的Barker码扩频，1Mbps时采用DBPSK调制，2Mbps时采用DQPSK调制。DSSS系统，除了1Mbps和2Mbps的数据速率之外，还可提供5.5Mbps和11Mbps。码片(Chip)的数据速率都是11M chip/s，因此四种数据速率的信道带宽都是一样的。而且，四种数据速率所使用的Preamble和header都是一样的。

有研究表明，DSSS系统比FHSS系统具有更好的误码性能、传输距离，但因QPSK不具有恒包络特性，需要用线性功率放大器，故适用于高性能系统。在IEEE802.11b中，数据速率为5.5Mbps和11Mbps，它也工作在2.4GHz频段，采用CCK调制。

7.2.2 WiFi物理层的构成及其实现的功能

1. WiFi物理层的构成

物理层主要由下面三个实体构成，具体如下：

(1) PLME(物理层管理实体)；

(2) PLCP(物理层收敛协议层)；

(3) PMN(物理介质依赖层)。

PLCP子层用来将MAC层的MPDU数据单元映射成适合PMD传送的帧格式，从而降低MAC层对PMD层的依赖程度。PMD位于PLCP子层下面，PMD支持两个工作站通过无线介质实现物理层实体的发送和接收，PMD直接面向无线介质并向帧提供调制和解调功能。

物理层帧结构如表7-2-1所示，其中SYNC字段由0和1交替组成，接收器在检测的SYNC后开始进入输入信号的同步，Start Frame Delimiter(开始帧界定符)表示一个帧的开始signal(信号)标明接收器的调制方式，service保留使用，Length标明MPDU帧的长度，Frame Cheek Sequence(帧校验序列)用于帧校验，MPDU来自MAC层。

表7-2-1 物理层帧结构

SYNC	Start Frame Delimiter	Signal	Signal	Length	Frame Check Sequence	MPDU

WiFi物理层PLME管理实体概述如下。

(1) 层管理的概念：MAC层和物理层在概念上包括有各自的管理实体，分别称为MLME(MAC层管理实体)和PLME(物理层管理实体)。这些实体提供触发管理函数的接口。为了提供正确的MAC层操作，在每一个工作站中都有一个SME(工作站管理实体)，这个管理实体是独立于层的实体，这个实体的功能主要是从不同层管理实体收集层的状态和设置具体层的参数值。

不同实体之间通过相互之间SAP(服务接入点)来交换原语(原语是指某个软件上操作)。大致有三种SAP：SME-MLME SAP，SME-PLMES SAP和MLME-PLMES SAP，其中后面两个SAP支持相同的原语，所以可以看作一个SAP(PLME-SAP)。

(2) 层之间的通用原语

XX-GET.request(Mm attribute)：要求得到给出的MIB attribute的值。

XX-GET.confirm(status，MIB attribute，MIB attribute value)：当状态值为成功时返回相应MIB attribute value值，如果状态值为失败值，则返回错误的原因。

XX-SET.request(Mm attribute，Mm attribute value)：将给定的Mm attribute设为某

个值，如果 MIB attribute 意味着某个操作，则执行相应的操作。

XX-SET. confirm(status，MIB attribute)：如果状态值返回成功值，则 Mm attribute 将被设为指定的值，或者是成功执行了某个操作。否则在状态域中返回一个错误值。

2. WiFi 物理层实现的功能

WiFi 物理层实现三大功能：载波监听功能、发送数据功能和接收数据功能。

(1) 载波监听功能：物理层通过 PMD 层检查介质状态来执行载波监听操作，PLCP 层在没有发送和接收帧时探测信号的到来和完成信道评估。PLCP 层持续对介质进行监听，当介质忙时 PLCP 层将发送一个标明介质忙的 PHY-CCA. indication 原语到 MAC 层，同时 PLCP 层将读取前同步码，并试图同步接收器和信号数据率。当介质空闲时，PLCP 层将发送一个标明介质空闲的 PHY-CCA. indication 原语到 MAC 层。在 DSSS 方式下 MAC 层通过下面三种方式完成信道评估：PMD-ED(能量探测)、PMD-CS(载波监听)和 PMD-ED＋PMD-CS，此功能的设置主要在驱动程序初始化中设置。

(2) 发送数据功能：PLCP 层在收到 MAC 层 PHY-TXSTART. request 原语后将 PMD 转换到传输模式，发送器以 1Mbps 的数据速率发送前同步码和适配头，适配头发送结束后，发送器将数据速率改到适配头中确定的数据速率，在发送完后，PLCP 层向 MAC 层发送 PHY-TXEND. On firm 原语，关闭发送器，并将 PMD 电路转换到接收模式。

(3) 接收数据功能：当信道评估为忙，并有合法的前同步码时，PLCP 层将监听该帧的适配头，当 PLCP 层确定适配头无误时将向 MAC 层发送 PHY-TXSTART indication 原语通知帧的到来，随同这个原语一起发送的还有适配头的一些信息。PLCP 层根据适配头中字段长度的值来设置字节计数器，PLCP 层通过 PHY-DATA. indication 来向 MAC 层发送 PSDU 的字节，当字节计数器为零时，PLCP 层向 MAC 层发送 PHY-RXEND. indication 原语来声明完成帧的接收。

3. DSSS 通信技术

DSSS(direct sequence spread spectrum)技术是一种信息处理传输技术。它利用伪随机码对信息进行编码调制，实现频谱扩展，使被传输信号幅度低于噪声电平，这就大大提高了通信隐蔽性和抗截获能力。接收端则采用相同的序列进行解扩和相关处理，恢复出原始的数据信息。它是现代通信抗侦察、抗干扰的重要手段，在恶劣的干扰环境下，采用 DSSS 技术可以提供安全可靠的通信信道。DSSS 信号具有以下三个特征：

(1) 扩频信号是不可预测的伪随机的宽带信号；

(2) 扩频信号的带宽远大于被传输数据(信息)带宽；

(3) 接收机中必须用与宽带载波同步的副本。

由于 DSSS 信号的上述特征，另外不同用户可以使用不同的伪随机码，使得 DSSS 通信系统具有以下几个特点。

(1) 有选择地址的能力，对于多元接入系统能实现码分复用；其频带利用率并不因占用的频带扩展而降低，采用多址通信后，反而比单频单载波系统的频带利用率高。

(2) 信号的功率谱密度低，可使信号淹没在噪声之中，不易被敌方截获、侦察、测向和窃听。DSSS 系统可在－10～15dB 乃至更低的信噪比条件下工作，具有很强的隐蔽性。

(3) 具有较强的抗干扰能力。

(4) 抗衰落能力强。

4. 同步机制

在IEEE802.11中,同步有两种类型。一种是我们通常意义上的严格的时间同步,另一种是终端之间为了能通信而建立在管理功能上的同步。严格的时间同步需要时间同步函数(TSF)来维持一个网络中各个终端必须认同的时间,该时间需要通过收发Beacon帧发送到网络中的各个终端,从而实现全网络的同步。在拥有AP的网络中,由AP初始化TSF,并定时地通过时标帧(Beacon)将其发送给网络中所有的终端。如果终端中的TSF与收到的Beacon中的时差不同,在根据收到的Beacon进行更新。在一个分布式的网络中,TSF是采用分布式算法得到并通过Beacon发送使得各个终端得以更新。在有AP的情况下,终端和AP之间通信实现同步。在同步的过程中,Beacon帧是非常重要的。AP将通过发送Beacon帧来定义完整的BSS时间,使得各个终端及时地进行时间差更新。在每个网络中定义时标期TBTT,当TBTT到达时标期时,AP将发送Beacon帧,该帧的发送也是通过CSMA/CA来访问物理媒体的。如果在TBTT时信道正忙,AP将进行Beacon帧发送的延迟。

而管理层上面的同步需要经过扫描(scan)、加入(join)和开始(Start)三个步骤,以使得移动台加入WLAN。扫描分为主动扫描和被动扫描两种。被动扫描时,终端将扫描Beacon帧并从中提取出相关的信息。主动扫描时,扫描方发送探测帧。探测帧中包含期望加入的无线网络的ID号。如果没有发现期望的网络,则该终端将建立自己的基本服务集网络;否则,它将进一步启动加入期望网络的过程,并开始在网络中进行通信。

7.2.3 WiFi技术的优点和不足

WiFi技术突出的优势在于较广的局域网覆盖范围,WiFi的覆盖半径可达100m左右,相比于蓝牙技术覆盖范围较广;传输速度快,WiFi技术传输速度非常快,适合高速数据传输的业务;无须布线,WiFi最主要的优势在于不需要布线,因此非常适合移动办公用户的需要;健康安全,IEEE802 11规定的发射功率不可超过100mW,实际发射功率为60~70mW,而手机的发射功率为200mW~1W,手持式对讲机高达5W,与它们相比,WiFi产品的辐射要小很多。

WiFi技术的不足之处首先它的覆盖面积有限。其次它的移动性不佳。只有在静止或者步行的情况下使用才能保证其通信质量。为了改善WiFi网络覆盖面积有限和低移动性的缺点,最近又提出了802.11n协议草案。802.11n相比前面的标准技术优势明显。在传输速率方面,802.11n可以将WLAN的传输速率由目前802.11b/g提供的54Mbps提高到300Mbps甚至600Mbps。在覆盖范围方面,802.11n采用智能天线技术,可以动态调整波束,保证让WLAN用户接收到稳定的信号,并可以减小其他信号的干扰,从而将获得更宽的覆盖范围。

7.3 WiMax

7.3.1 WiMax技术概述

WiMax是一项基于IEEE 802.16标准的宽带无线接入城域网技术,是针对微波波频段提出的一种空中接口标准,采用无线方式实现"最后一公里"接入的宽带接入技术。WiMax

系统主要有两个技术标准，一个是指满足固定宽带无线接入的 WiMax802.16d 标准，另一个是满足固定和移动的宽带无线接入技术 WiMax802.16e 标准。

7.3.2 WIMAX 的协议标准 802.16 协议简介

IEEE 802.16e 标准草案在 2003 年 11 月完成第一稿工作，第二稿于 2006 年 2 月份发表，也是目前的最新版本；其目的是在已有标准中增加数据移动性。IEEE 802.16e 标准工作在小于 6GHz 适宜于移动性的许可频段，可支持用户终端以车辆速度移动，同时 802.16d 规定的固定无线接入用户能力并不因此受到影响，它是 IEEE 802.16d 的进一步延伸，目前定位的目标速率为 70～80mi/h，采用的是非对称链路结构。IEEE802.16e 是移动宽带无线接入的标准，该标准后向兼容 IEEE 802.16d。IEEE802.16e 的物理层实现方式与 IEEE 802.16d 是基本一致的，主要差别是对 OFDMA 进行了扩展，可以支持 2048-Point、1024-Point、512-Point 和 128-Point，以适应不同载波带宽的需要。

802.16 主要定义了物理层及介质访问控制层(MAC)层。

1. 物理层

(1) Wireless MAN-SC 物理层

Wireless MAN-SC 可采用 FDD(频分复用)或 TDD(时分复用)双工方式。下行方向采用 TDM 方式，且调制方式必须支持 QPSK 和 16-QAM，可选支持 64-QAM。上行方向采用 TDMA 和 DAMA 方式，且调制方式采用 QPSK。基站的 EIRP 谱密度不应超过 28.5dB/MHz 或地方规定，固定用户终端的 EIRP 谱密度不应超过 39.5dB/MHz 或地方规定。

(2) Wireless MAN-SCA 物理层

Wireless MAN-SCA 可采用 FDD 或 TDD 双工方式。下行方向采用 TDM 或 TDMA 方式，上行方向采用 TDMA 方式。此外，上下行均可采用 FEC 编码技术，当选择不支持 FEC 编码时，差错控制采用自动重传请求(ARQ)技术。可选支持先进天线系统(AAS)和空时编码(STC)。调制方式必须支持 Spread BPSK、BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM，可选支持 256-QAM。当滚降因子为 0.25、调制方式为 256-QAM 时，20MHz 信道带宽可提供高达 100Mbps 的传输速率。

(3) Wireless HUMAN 物理层 Wireless HUMAN 典型信道宽带为 10MHz 和 20MHz。可采用 SCA 或 OFDM 和正交分频多工存取(OFDMA)调制方式，双工方式为 TDD，必须支持动态频率选择(DFS)，可选支持 AAS、ARQ、Mesh 和 STC 等。

(4) Wireless MAN-OFDM 物理层

Wireless MAN-OFDM 采用 256 个子载波的 OFDM 调制技术，下行采用 TDM 方式，上行接入采用 TDMA＋OFDMA 作为多址方式。在许可频段，双工方式可采用 FDD 或 TDD，且 BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM 是必须支持的调制方式；在免许可频段，只能采用 TDD 双工方式，且除 BPSK、QPSK 和 16-QAM 外，可选支持 64-QAM 调制方式。在许可频段，信道带宽应是规划频带宽度除以 2 的幂后四舍五入到 250kHz 的倍数，但不小于 1.25MHz。在 64-QAM 调制方式下，20MHz 信道可提供高达 73Mbps 的传输速率，可选支持 Mesh 网络结构、AAS 和 ARQ。

(5) Wireless MAN-OFDMA 物理层

Wireless MAN-OFDMA 采用 2048 个子载波的 OFDMA 技术，通过为每个接收机分配

一组子载波来实现多址传输，上下行都采用 TDMA＋OFDMA 作为多址方式。在许可频段，双工方式可采用 FDD 或 TDD；在免许可频段，只能采用 TDD 双工方式。可选支持 AAS、ARQ 和 STC。调制方式采用 QPSK 和 16-QAM，可选支持 64-QAM。信道带宽应是规划频带宽度除以 2 的幂，但不小于 1.0MHz。在 64-QAM 调制方式下，20MHz 信道可提供高达 75Mbps 的传输速率。

2. MAC 子层

MAC 层最显著的特征是：它是基于“连接”的，即所有 SS 的数据业务以及与此相联系的 QoS 要求，都是在“连接”的范畴中来实现的。MAC 层包括以下三个子层。

(1) 服务汇聚子层(service-specific convergence sub-layer，CS)：将所有从汇聚层服务接入点(CS SAP)接收到的外部网络数据的转化/映射成 MAC SDU，通过 MAC SAP 发送给 MAC CPS。CS 层的功能包括：分类外部网络服务数据(SDU)，将这些数据关联到正确的 MAC 服务流(SFID)及连接(CID)。还可能包含负荷头压缩功能(PHS)。

(2) MAC 公共子层(MAC common part sub-layer，CPS)：不用理解/分析任何从 CS 层来的负荷信息。该层包含 MAC 层的核心功能，包括带宽请求、连接建立、连接维护。该层从 MAC SAP 接收数据，按 MAC 连接分类。QoS 将被应用到传输中并由物理层来保证。

(3) 安全子层(privacy sub-layer，PS)：提供认证、安全的密钥交换和加密功能。

7.3.3 WiMax 系统的关键技术

IEEE 802.16 的 MAC 层提供两种组网模式。一种是点到多点(PMP)模式，小区所有的 SS 间的通信都需要 BS 的调度。另一种是研究还不成熟的网格状(Mesh)模式。以下是对 IEEE 802.16 在 PMP 模式下在 QoS、组网、安全等内容的研究。

1. QoS 机制

IEEE 802.16 MAC 层是面向连接的协议，支持四种服务：主动授予服务(UGS)、实时轮询服务(RTPS)、非实时轮询服务(NRTPS)和尽力而为服务(BE)，不同类型的业务具有不同的 QoS 参数，如延迟、抖动、吞吐量等。IEEE 802.16 QoS 框架包括连接建立、带宽请求和带宽分配等，核心机制是在上行链路或下行链路进行数据传输时，通过 MAC 接口的数据包与由连接标识符(CID)标识的一个特定服务流相关联，使数据包获得该服务流的 QoS 支持。在每个连接的基础上，SS 根据服务流的类别向 BS 请求带宽，不同的连接享受不同的服务质量。当创建一个新服务流或更改已有服务流参数时，该服务将发送请求消息给 BS，由接纳控制模块批准该请求后，再根据请求消息中的参数值更改当前的调度参数。

IEEE 802.16 MAC 层的带宽调度大都采用两层的调度架构，第一层调度是选择要服务的队列，第二层调度的工作是在确定该队列的调度策略，各种类型的服务流对带宽和时延的要求不一样，应针对不同的情况采用合适的调度算法，通过分层次的调度方式可以实现对不同服务流的 QoS 保障。

无线信道的容量具有随信道环境而改变的特点，因此有线网络的调度算法不能直接用于无线环境，WiMax 采用 OFDM 或 OFDMA 多载波调制技术，不同用户不同调制等级下的子载波数目是不同的，这和 TDMA 信道有很大差别，目前已有的无线资源调度算法也不能直接用于 WiMax 系统，要对先有的调度算法进行修改才能适用于 WiMax 系统。

2. 组网方式

频谱的可用性是无线技术应用的前提，作为3G标准之一的WiMax可能会采用3.5GHz频段。组网时要考虑频率规划和终端计费认证，频率规划要考虑对用户速率、网络容量的影响，选择合适的频率复用机制可以减小系统间的相互干扰，提高系统容量。WiMax网络的认证计费方案在PPPOE、IEEE 802.1x、Web认证等方式中选择。

WiMax系统的网络结构包括终端、接入网和核心网。IEEE 802.16没有定义WiMax的核心网，WiMax核心网要求能满足不同业务和应用的QoS需求，提供用户认证、漫游以及与其他网络的互通。WiMax固定应用模式采用符合IEEE 802.16d标准的设备，网络可叠加在宽带城域网上，不支持小区间的数据切换。WiMax可以充分利用已有无线网络的核心网，使用现有网络的AAA（认证、授权和计费）服务器和安全机制等，随着WiMax网络的发展，将统一调度WiMax系统和移动蜂窝网络的无线资源。

WiMax系统与3G系统频谱分配很接近，在系统间的基站共站址的情况下，除原来系统内干扰外，还产生系统间干扰，采取以下措施可以降低这种干扰：衡量所有干扰因素后，决定基站需要移动的距离；采用频率复用技术；在不改变基站间距的条件下，增大最小耦合损耗，这相当于增加了保护间隔；采用附加滤波器和线性化功率放大器等。

3. 安全机制

IEEE 802.16标准在MAC层中定义了一个安全子层，主要包括数据加密封装协议和密钥管理（PKM）协议，前者包括加密算法和加密算法在MAC PDU中的应用规则，后者包括用户公/私钥、授权密钥和会话密钥，采用X.509数字证书验证SS的身份和重认证机制等措施来有效阻止假冒SS的非法接入。

IEEE 802.16d安全机制存在的问题：SS不能识别认证消息是否来自合法的BS；身份验证只基于X.509证书，缺乏扩展性；缺乏组播密钥协商，授权和密钥协商请求由SS发起，可能带来DoS攻击。

以下是IEEE 802.16e在安全方面做出的一些改进。

(1) 用X.509证书标识基站的身份，基站和MS可以双向认证，在传递证书的消息里使用随机数字，防止重发攻击，基站的公/私钥进行数字签名。

(2) 为适应不同场合，新采用的EAP认证框架在认证时可选择采用认证协议的类型。

(3) 终端已从SS变为MS，安全部分引进预认证机制来支持切换，预认证只是进行简单的消息交换，有认证服务器完成密钥预分发的过程。

(4) 考虑增加多播/组播业务的支持，IEEE 802.16e还借鉴了WiFi等无线通信技术的一些安全机制。

IEEE 802.16e的安全子层还需对一些内容进行定义，如EAP认证框架只列了一些可用的认证方式，没有做具体说明；MS接入控制的安全性等。

7.3.4 WiMax的技术特点

1. 覆盖范围广，传输速率高

WiMax技术中采用的OFDM（正交频分复用）调制技术是下一代蜂窝移动通信系统的关键技术之一，能有效地对抗多径效应、频率选择性衰落和窄带干扰，可以提高非视距传输能力，最远传输距离可达50km，只需几个热点就可覆盖大片区域，是真正的无线城域网技

术。同时 WiMax 采用了 MIMO(多入多出)天线技术,进一步提高了频谱利用率,能支持 75Mbps 的高速率数据传输,是 3G 系统理论支持最高传输速率的几十倍。此外由于还采用了自适应的功率控制技术,可以根据信道的质量情况调整辐射功率,从而可以提供更广的覆盖范围和更快的接入速度。

2. 具有优良的 QoS 性能

WiMax 技术定义了良好的 QoS 机制,可以向用户提供具有 QoS 性能的数据、视频和语音业务。WiMax 提供了三种等级的服务,分别为固定带宽服务、约定带宽服务和尽力而为服务。这种 QoS 机制可以根据业务的实际需求动态分配带宽,支持不同的服务水平,具有很大的灵活性。

3. 调制技术自适应

WiMax 技术可以根据信道状态的变化,在保持辐射功率不变的情况下,自适应地改变调制和编码方式,克服了功率控制技术中的"远近效应",在通信的可靠稳定性与系统吞吐量之间折中。但是单纯应用这种技术不能保证固定的时延,因此不适用于对数据速率和延时有要求的电路交换业务。

7.3.5 与 WiMax 系统结合的新技术

目前业界采用一些先进技术如 AMC、MIMO 等技术与 WiMax 系统结合,希望能提高系统性能,改善用户质量,这是下一步研究 WiMax 的方向。

1. 自适应调制编码

IEEE 802.16 有 QPSK、64-QAM 等调制方式,编码方式有卷积编码、卷积 Turbo 码(CTC)等。为支持高数据速率,WiMax 采用了自适应调制编码(AMC),根据信道质量调整编码速率以获得较高的吞吐量。WiMax 中的 OFDMA 子载波信道排列有相邻子载波排列和分布式子载波排列两种形式,WiMax 中的 AMC 对这两种子信道进行信道质量估计,选择合适的调制编码方式,对信道质量估计有影响的因素主要是慢衰落和快衰落。

阴影效应产生的损耗属于慢衰落,在测量时延内,阴影衰落对信道的时间相关性影响较小,AMC 可以获得较好的性能。快衰落主要有频率选择性衰落和时间选择性衰落,相邻子载波排列的信道中子载波是连续分配的,频率选择性衰落和时间选择性衰落都会影响 AMC 的效果。在分布式子载波排列的信道中,子载波有很好的抗频率选择性衰落的效果,AMC 中信道的估计值与信道实际质量能较好地符合。对时间选择性衰落,利用交织技术和较短的帧格式,会得到较好的 AMC 性能。

当无线通信速率较低时,信道估计比较准确,WiMax 系统中的 AMC 因此能获得较好的效果。随着终端移动速度的增加,信道质量估计会跟不上信道的变化,在错误的信道测量下,AMC 采用的调制编码方式与实际情况不一致,会对系统容量、误码率,吞吐量等性能指标带来很大的负面影响。

2. MIMO 技术

MIMO 技术是在发送端和接收端采用多天线传输无线信号的一种技术,属于智能天线的一种,工作原理是利用在空间中分布的多个天线将时域和空域结合起来进行信号处理。相比传统的单天线系统,MIMO 技术能提高频谱利用率,在有限的无线频带下传输更高速率的数据业务。

IEEE 802.16e 使用的频率较高，但传播过程中损耗较大，会影响其网络覆盖能力，降低系统容量，采用 MIMO 技术能显著改善其系统性能：使用 MIMO 技术后系统容量随天线数目线性增长，这增强了 WiMax 系统网络覆盖能力；与其他智能天线技术相比，MIMO 天线安装和维护成本低；MIMO 技术在发送端工作时可以不需要信道信息，适用于移动环境中信道估计复杂的情况。

7.3.6 WiMax 的应用的方式

WiMax 的应用分为固定模式和移动模式。其最合适的市场定位是现有宽带技术的补充，应采取融合式发展策略。

1. 作为 DSL 的替代

替代 DSL 属于固定模式的应用，主要是在有线线路不易铺设，而又有数据传输需求的地方使用。例如，在一些农村偏远地区，人员居住比较分散，电信基础设施比较薄弱，但也存在一定的上网需求，通过建立一个或几个 WiMax 热点就能实现良好的覆盖，满足信息化时代人们对信息获取的基本要求；又如，在一些大型会议、集会、突发事件、临时应急等场合，通常涉及的范围比较广，同时又有大量数据传输的需要，可以设置临时热点，提供大容量数据传输能力；再如，在城市楼宇密集区，如果光纤无法铺设，则可以应用热点覆盖，然后利用楼内已铺设的线路接入到各家各户，避免了在楼宇密集区铺设光缆的麻烦。

2. 与 3G 结合

单独就 WiMax 技术而言，采用的 OFDM 和 MIMO 技术是业界公认的4G 技术，但目前主流的 IEEE 802.16d 和 IEEE802.16e 标准还远达不到 4G 的要求，与现有 3G 标准的成熟度也还有相当大的差距，不能支持高速移动和无缝切换，这种情况也只能寄希望于 IEEE 802.16m 标准来解决，到那时再谈单独建网，实现蜂窝通信才更实际。当前 WiMax 业务的侧重点应与 3G 有所不同，就其目前的发展水平来看，应该是主要提供宽带数据接入业务，以弥补 3G 在数据传输速率方面的不足，而 3G 则可以弥补 WiMax 移动性不强的缺点，提供高质量的通信服务和无缝漫游支持。WiMax 可以利用现有的 3G 核心网，作为一个接入网实现与 3G 的紧耦合；也可以使用多模式终端，实现 3G 与 WiMax 的切换，在享受移动通信便捷的同时，享受无线宽带业务的高效。

3. 与 WiFi 结合

WiFi 的覆盖范围较小，但其架设简单，而且基于此标准的产品众多，应用成熟，可以利用 WiFi 的成熟度与 WiMax 的远距离覆盖进行融合。在室内覆盖还是采用 WiFi，构建局域网，在接入核心网的部分则应用 WiMax，实现城域网传输。这种方式是利用 WiMax 作为无线业务的回程，取消了无线局域网对有线线路的依赖，是构建无线城市比较理想的方案。

7.3.7 WiMax 发展中尚未解决的问题

WiMax 要实现大规模商用还存在很多要解决的问题，面临着许多的挑战，一方面是自身的原因，另一方面则是来自其他技术的挑战。

1. 频谱分配问题

频率分配问题一直是 WiMax 论坛要解决的头等问题之一，除了希望能在适合移动性能的 3Ghz 频段以下得到频率资源外，还希望能在全球得到统一的频率资源，但是各国频率

分配的差异给频率分配问题带来了困难。同时在我国WiMax与3G、3G扩充及演进频段和WiFi已规划频段有冲突,使其在中国市场就面临着尴尬的境地。

2. 其他技术的竞争

IEEE 802.16m作为WiMax的最新标准是4G的候选技术之一,相比上一代的IEEE 802.16e提高了网络覆盖、频谱效率和数据容量。虽然得到了英特尔等行业巨头的大力支持,但是同为4G的候选标准之一的LTE技术却是目前呼声最高的技术,与WiMax技术形成了直接竞争,而且我国的TD-LTE方案已经成为世界标准,所以WiMax发展空间更小,WiMax距离真正大规模商用还有很长的路要走,期间要解决很多的问题,但其先进性也毋庸置疑。相信随着WiMax技术的发展,将会给我们带来更多的惊喜。

7.3.8 WiMax的市场进展情况

从技术的定位上讲,WiMax更适合用于城域网建设的"最后一公里"无线接入部分,尤其是对于新兴的运营商更为合适。WiMax技术分为固定和移动两部分,因此运营商在市场定位上会面临选择:如果选择提供固定宽带接入,那么市场规模会比较有限;如果立足于移动业务,在运营模式、终端支持、组网方式方面都存在很多挑战,同时也将面临来自3G、E3G技术的竞争。

从2007年始,设备供应商、运营商对的WiMax支持力度越来越大。除了韩国的运营商,其他诸如美国、日本、新加坡等国家的运营商和ISP也纷纷明确要采用移动WiMax技术,其中比较有影响力的是KDDI、Sprint Nextel和Clear Wire,此外,BT、Bell South、NTT Do Co也已经宣布将对移动WiMax进行测试。其中,Sprint Nextel已经选择了英特尔、三星、摩托罗拉等作为自己的设备供应商,并与诺基亚共同研发移动WiMax便携终端的软件平台。诺基亚、英特尔和摩托罗拉等诸多国际巨头纷纷推出相应产品,例如基站、手机、解决方案等。

中国的无线城市建设正驶入快车道。北京将成为拥有150个WiMax基站的城市,天津塘沽技术开发区将被无线宽带覆盖并将扩展至整个天津,中国南方个别小镇已被WiMax网络覆盖。网通在广东中山、重庆等都有WiMax试验网,已建了两年,电信和网通目前基本上是测试IEEE802.16d技术,中国移动通信公司还没有大面积铺开WiMax试验,但也主要测IEEE802.16d技术,因为IEEE802.16d技术在国际上已经很成熟,而IEEE802.16e还不成熟:目前最积极的是中国联通通信公司,因为联通在接入方面尚缺少有线接入的资源,这样可以更加快速方便得实现一些业务。在中国联通的城市WiMax测试中,出现了部分产品的吞吐量对环境敏感度过高、非视距传输能力有待提高等问题,部分产品出现了在重载、高频调制条件下丢包率增大的现象。

7.4 蓝 牙

随着通信网络的发达,各种通信电缆五花八门,不但办公室中电缆无处不在,家用设备的发展也使居室成了电缆的世界。人们在觉得它们必不可少的同时,又伤透了脑筋,如电缆使用不便,连线频出故障,各种电缆之间无法通用。电缆成为现代通信中的美中不足。为了取消连线,以较低成本实现各设备间的无线通信,蓝牙(Bluetooth)技术应运而生。

7.4.1 蓝牙的由来

蓝牙以公元10世纪统一丹麦和瑞典的一位斯堪的纳维亚国王的名字命名。它孕育着颇为神奇的前景：对手机而言，与耳机之间不再需要连线；在个人计算机，主机与键盘、显示器和打印机之间可以摆脱纷乱的连线；在更大范围内，电冰箱、微波炉和其他家用电器可以与计算机网络的连接，实现智能化操作。

发明蓝牙技术的是瑞典电信巨人爱立信公司。由于这种技术具有十分可喜的应用前景，1998年5月，五家世界顶级通信/计算机公司：爱立信、诺基亚、东芝、IBM和英特尔经过磋商，联合成立了蓝牙共同利益集团(Bluetooth SIG)，目的是加速其开发、推广和应用。此项无线通信技术公布后，便迅速得到了包括摩托罗拉、朗讯、康柏、西门子等一大批公司的一致拥护，至今加盟蓝牙SIG的公司已达到2000多个，其中包括许多世界最著名的计算机、通信以及消费电子产品领域的企业，甚至还有汽车与照相机的制造商和生产厂家。一项公开的技术规范能够得到工业界如此广泛的关注和支持，这说明基于此项蓝牙技术的产品将具有广阔的应用前景和巨大的潜在市场。蓝牙共同利益集团现已改称蓝牙推广集团。

7.4.2 什么是蓝牙技术

所谓蓝牙技术，实际上是一种短距离的无线通信技术，能够有效地简化掌上电脑、笔记本式计算机和移动电话手机等移动通信终端设备之间的通信，也能够成功地简化以上这些设备与因特网之间的通信，从而使这些现代通信设备与因特网之间的数据传输变得更加迅速高效，为无线通信拓宽道路。蓝牙技术使得现代一些轻易携带的移动通信设备和计算机设备，不必借助电缆就能联网，并且能够实现无线上网，其实际应用范围还可以拓展到各种家电产品、消费电子产品和汽车等信息家电，组成一个巨大的无线通信网络。蓝牙技术属于一种短距离、低成本的无线连接技术，是一种能够实现语音和数据无线传输的开放性方案。因此，无线通信的蓝牙，已经引起了全球通信业界和广大用户的密切关注，在未来，智能家电必将以因特网和家庭网络为基础，能在无线网络中实现数据、命令等的双向传输，蓝牙技术无疑是将来家电发展的优选技术之一。

7.4.3 蓝牙主要技术概述

蓝牙技术产品是采用低能耗无线电通信技术来实现语音、数据和视频传输的，工作在全球开放的2.4GHz ISM(即工业、科学、医学)频段，其传输速率最高为1Mbps，以时分方式进行全双工通信，通信距离为10m左右，配置功率放大器可以使通信距离进一步增加。

ISM频带是对所有无线电系统都开放的频带，因此使用其中的某个频段可能会遇到不可预测的干扰，所以蓝牙收发信机一般都采用跳频扩谱(frequency hopping spread spectrum，FHSS)技术。FHSS是把频带分成若干个跳频信道(hop channel)，在2.4GHz ISM频带上以1600跳/秒的速率进行跳频。在一次连接中，蓝牙收发信机按一定的码序列(即伪随机码)不断地从一个信道"跳"到另一个信道，只有收发双方是按这个规律进行通信的，而其他的干扰设备是不可能按同样的规律进行干扰的。跳频的瞬时带宽是很窄的，但通过频谱扩展技术可以使这个窄带成百倍地扩展成宽频带，因此使干扰可能产生的影响变得很小。依据各国的具体情况，2.45GHz为中心频率，最多可以得到79个1MHz带宽的信道。

蓝牙的调制方式为采用两级GFSK(高斯频移键控),原始位率为1Mbps。通道带宽为1MHz,设有2MHz的保护带。采用TDD(时分双工)电路以支持全双工传输。使用FEC(forward error correction,前向纠错)来抑制长距离链路的干扰,保证数据传输的正确性。

蓝牙支持"点到点"和"点到多点"的链接,若进行一点对多点的传输,多个蓝牙装置会共用一条传输通道。若两个或更多蓝牙装置共用同一通道,采用无线方式将若干蓝牙设备连成一个微微网(piconet),多个piconet又可互联成一个散射网络(scatternet),形成灵活的多重微微网的拓扑结构,从而实现各类设备之间的快速通信,它能在一个微微网内寻址8个设备(实际上互联的设备数量是没有限制的,只不过在同一时刻只能激活1个主控器,7个从属装置)。每个微网络只有一个主控器,但从属装置则可利用时分多工的设计与不同的微微网进行联系。此外,某一微微网的主控器可以是另一微微网的从属装置。

蓝牙产品采用的是跳频技术,能够抗信号衰落;采用快跳频和短分组技术,能够有效地减少同频干扰,提高通信的安全性;采用前向纠错编码技术,以便在远距离通信时减少随机噪声的干扰;采用2.4GHz的ISM(即工业、科学和医学)频段,以省去申请专用许可证的麻烦;采用FM调制方式,使设备变得更为简单可靠;"蓝牙"技术产品一个跳频频率发送一个同步分组,每组一个分组占用一个时隙,也可以增至5个时隙;"蓝牙"技术支持一个异步数据通道,或者3个并发的同步语音通道,或者一个同时传送异步数据和同步语音的通道。"蓝牙"的每一个话音通道支持64kbps的同步话音,异步通道支持的最大速率为721kbps、反向应答速率为57.6kbps的非对称连接,或者432.6kbps的对称连接。

蓝牙技术产品与因特网之间的通信,使得家庭和办公室的设备不需要电缆也能够实现互通互连,大大提高办公和通信效率。因此,"蓝牙"将成为无线通信领域的新宠,将为广大用户提供极大的方便而受到青睐。

7.4.4 蓝牙系统的组成

蓝牙系统由天线单元、链路控制单元、链路管理和软件结构和协议体系组成,如图7-4-1所示。

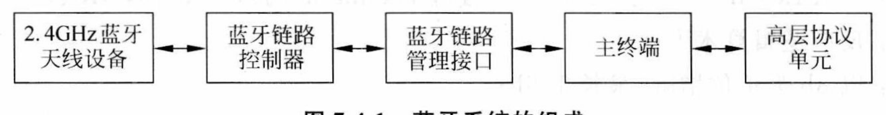


图7-4-1 蓝牙系统的组成

1. 天线单元

蓝牙天线属于微带天线,体积十分小巧,质量轻,空中接口是建立在天线电平为0dBm基础上的,遵从美国联邦通信委员会有关0dBm电平的ISM频段的标准。

2. 链路控制单元

目前蓝牙产品的链路控制硬件单元包括3个集成器件,即连接控制器、基带处理器和射频传输/接收器,此外还使用了3~5个单独调谐元件。基带链路控制器负责处理基带协议和其他一些低层常规协议。蓝牙基带协议是电路交换与分组交换的结合,采用时分双工实现全双工传输。

3. 链路管理器

链路管理器(LM)软件模块设计了链路的数据设置、鉴权、链路硬件配置和其他一些协

议。LM能够发现其他远端LM并通过LMP(链路管理协议)与之通信。

4. 软件结构和协议体系

蓝牙设备应具有互操作性,即任何蓝牙设备之间都应能够实现互通互联,这包括硬件和软件。蓝牙技术的规范接口可以直接集成到笔记本电脑或者通过PC卡或USB接口连接,或者直接集成到蜂窝电话中或通过附加设备连接。蓝牙技术系统中的软件(协议栈)是一个独立的操作系统,不与任何操作系统捆绑,它符合已经制定好的蓝牙规范,适用于集中不同商用操作系统(Windows、Unix、Pocket PC等)的蓝牙技术规范正在完善中。

7.4.5 蓝牙系统基本参数及指标

工作频段:ISM频段2.402~2.480GHz;

双工方式:TDD;

业务类别:同时支持电路交换及分组交换业务;

数据标称速率:1Mbps;

异步信道速率:非对称连接723.2kbps 、57.6kbps;

对称连接:433.9kbps(全双工模式);

同步信道速率:64kbps(3个全双工信道);

信道间隔:1MHz;

信道数:79;

发射功率及覆盖:0dBm(1mW),1~10m覆盖,20dBm(100mW),扩展至100m覆盖;

跳频频点数:79个频点/MHz(2408+k(MHz),k=0,1,2,…,78);

跳频速率:1600次/s;

工作模式:Active/Sniff/Hold/Park;

数据连接方式:面向连接业务SCO(话音,电路交换、预留时隙)、无连接业务ACL(分组数据、分组交换、轮询);

方式:1/3FEC(3b重复码),2/3FEC(截短Hamming码),CRC-16,ARQ;

鉴权:反应逻辑算术方式;

密钥:以8b为单位增减,最长128b;

安全机制:链路级,认证基于共享链路密钥询问/响应机制,认证和加密密钥生成基于SAFER的算法;

话音编码方式:CVSD或对数PCM;

网络拓扑结构:Ad hoc(无中心自组织)结构,piconet及scatternet。

7.4.6 蓝牙技术的特点

蓝牙技术利用短距离、低成本的无线连接替代了电缆连接,从而为现存的数据网络和小型的外围设备提供了统一的连接。

蓝牙技术使用高速跳频和时分多址等先进技术,在近距离内最廉价地将几台数字化设备呈网状链接起来。

蓝牙是一个开放性的、短距离无线通信技术标准。它可以用来在较短距离内取代目前

多种线缆连接方案，穿透墙壁等障碍，通过统一的短距离无线链路，在各种数字设备之间实现灵活、安全、低成本、小功耗的语音和数据通信。

蓝牙作为一种新兴的短距离无线通信技术已经在各个领域得到广泛应用，它提供低成本、低功耗、近距离的无线通信，构成固定与移动设备通信环境中的个人网络，使得近距离内各种信息设备能够实现无缝资源共享。

7.4.7 蓝牙技术的前景

生活中，人们越来越多地享受到蓝牙技术所带来的方便。大部分人在购买手机以及笔记本电脑的时候都会考虑到产品是否支持蓝牙功能。透过安装在芯片里的无线收发器，配有蓝牙技术的电子产品可以在10米的范围内互相通信，传发照片、视频、照片等。它的传输速度也达到了惊人的1Mbps。这是以往的红外线接口技术所远不能达到的。何况红外线的传输还需要电子装置在很短的距离内才能正常进行。

目前，蓝牙技术已被普遍应用在笔记本电脑上，以帮助两台(或多台)笔记本电脑之间实现无线通信。较红外线传输必须保证传输信息的两个设备正对，且中间不能有障碍物、几乎无法控制信息传输的进度、没有成为被广泛接受的工业标准、设备种类不多等致命的缺陷，蓝牙的优势显示出了勃勃生机。

蓝牙技术会在未来的10年内普及到几乎所有的计算机中，到时候可以直接应用蓝牙传输计算机上的文件、歌曲、电影等。不需要烦人的连接电线或者是用移动存储设备，只需要在小范围内用蓝牙建立一个小型的局域网即可快速方便地传输文件。

此外，各种蓝牙设备无论在任何地方，都可以通过人工或自动查询来发现其他蓝牙设备，构成微微网或分散网，实现系统提供的各种功能，操作十分方便。例如，若把蓝牙技术引入移动电话和膝上型计算机，就可以去掉移动电话与膝上型计算机之间的连接电缆而通过无线使其建立通信。打印机、桌上型计算机、传真机、键盘、游戏操纵杆以及所有其他的数字设备，都可以成为蓝牙系统的一部分。除此之外，蓝牙技术还为已存在的数字网络和外设提供通用接口，以组建一个远离固定网络的个人特别链接设备群。

蓝牙技术使用操作简单，先由配备了蓝牙的设备搜索出位于半径10m以内的另外一台配备蓝牙的设备，经过双方认证后就可以用无线方式通信，使各种电器可以通过网络运转并自行控制，从而为人们的工作、生活带来便利。比如，当你坐在办公室的时候，可以根据天气的好坏，通过嵌有蓝牙模块并接入因特网的笔记本电脑向家里的信息控制中心发送命令，控制家里的窗帘的开关。

蓝牙技术在中国有着广阔的市场前景。国内专家预言，就当前信息技术产品的普及情况看，蓝牙技术将十分适合在中国发展。目前中国约有7亿个家庭，近6.5亿台电视，1亿多台计算机，固定电话用户已超过5亿。上网用户超过3亿。从这些数据可以预测出中国的个人网络终端市场是巨大的。用不了多少年，我们随身携带的便携式设备如移动电话、PDA、笔记本电脑、数码相机、便携式游戏机、便携式MP3播放机、手表等，都将装配蓝牙；电视、冰箱、空调等也将成为蓝牙信息家电。

7.5 红外技术

7.5.1 红外技术简介

红外线是波长为750nm～1mm的电磁波，它的频率高于微波而低于可见光，是一种人的眼睛看不到的光线。由于红外线的波长较短，对障碍物的衍射能力差，所以更适合应用在需要短距离无线通信的场合，进行点对点的直线数据传输。红外数据协会(IRDA)将红外数据通信所采用的光波波长的范围限定在850nm～900nm的范围。

红外是一种无线通信方式，可以进行无线数据的传输。自1974年发明以来，得到很普遍的应用，如红外线鼠标、红外线打印机、红外线键盘等。红外的特征是：红外传输是一种点对点的传输方式，无线，不能离得太远，要对准方向，且中间不能有障碍物也就是不能穿墙而过，几乎无法控制信息传输的进度；IRDA(红外数据通信技术)已经是一套标准，IR收/发的组件也是标准化产品。

1. 红外技术的优点

(1) 使得手机和计算机间可以无线传输数据；

(2) 可以在同样具备红外接口的设备间进行信息交流；

(3) 同时红外接口可以省去下载或其他信息交流所发生的费用；

(4) 由于需要对接才能传输信息，安全性较强。

2. 红外技术的缺点

① 通信距离短，通信过程中不能移动，遇障碍物通信中断；

② 红外通信技术的主要目的是取代线缆连接进行无线数据传输，功能单一，扩展性差

3. 红外技术与蓝牙的区别

(1) 距离

红外：对准，直接，0～10m，单对单；

蓝牙：10m左右，加强信号后最高可达100m，可以绕弯，可以不对准，可以不在同一间房间，链接最大数目可达7个，同时区分硬件。

(2) 产业

红外：近乎淘汰；

蓝牙：已经普及。

(3) 速度

红外：慢；

蓝牙：快。

(4) 安全

红外：无区别；

蓝牙：加密。

(5) 成本

红外：几元～几十元；

蓝牙：几十元～几百元。

（6）速度

红外：串口速度，57600kbps～19200kbps；

蓝牙：1.1Mbps～2.1Mbps甚至更高（蓝牙2.0）。

随着科学的进步，红外技术逐渐被USB连线和蓝牙所取代，已退出了市场。红外发明之初短距离无线连接的目的已经不如直接使用USB线和蓝牙方便，所以，市场上带有红外收发装置的机器会逐步退出人们的视线。

7.5.2 红外技术的发展

1800年，F.W.赫歇尔发现红外辐射时使用的是水银温度计，这是最原始的热敏型红外探测器。

1830年以后，相继研制出温差电偶的热敏探测器、测辐射热计等。在1940年以前，研制成的红外探测器主要是热敏型探测器。

19世纪，科学家们使用热敏型红外探测器，认识了红外辐射的特性及其规律，证明了红外线与可见光具有相同的物理性质，遵守相同的规律。它们都是电磁波之一，具有波动性，其传播速度都是光速，波长是它们的特征参数并可以测量。

20世纪初开始，测量了大量的有机物质和无机物质的吸收、发射和反射光谱，证明了红外技术在物质分析中的价值。

20世纪30年代，首次出现红外光谱代，以后，它发展成在物质分析中不可缺少的仪器。20世纪40年代初，光电型红外探测器问世，以硫化铅红外探测器为代表的这类探测器，其性能优良、结构牢靠。20世纪50年代，半导体物理学的迅速发展，使光电型红外探测器得到新的推动。

到20世纪60年代初期，对于1～3μm、3～5μm和8～13μm三个重要的大气窗口都有了性能优良的红外探测器。在同一时期内，固体物理、光学、电子学、精密机械和微型制冷器等方面的发展，使红外技术在军、民两个领域都得到了广泛的应用。

从20世纪60年代中叶起，红外探测器和系统的发展体现了红外技术的现状及发展方向。

（1）在1～14μm范围内的探测器已从单元发展到多元，从多元发展到焦平面阵列；

（2）红外探测器的工作波段从近红外扩展到远红外；

（3）轻小型化，非制冷、集成式、大面阵红外探测器方向发展；

（4）红外探测系统从单波段向多波段发展。

在红外技术的发展中，需要特别指出的是：20世纪60年代激光的出现极大地影响了红外技术的发展，很多重要的激光器件都在红外波段，其相干性便于移用电子技术中的外差接收技术，使雷达和通信都可以在红外波段实现，并可获得更高的分辨率和更大的信息容量。在此之前，红外技术仅仅能探测非相干红外辐射，外差接收技术用于红外探测，使探测性能比功率探测高好几个数量级。另外，由于这类应用的需要，促使出现新的探测器件和新的辐射传输方式，推动红外技术向更先进的方向发展。

7.5.3 红外技术及其应用

1. 红外技术

红外技术（infrared technique）的内容包含四个主要部分：红外辐射的性质，红外元件、

部件的研制，把各种红外元、部件构成系统的光学、电子学和精密机械，红外技术在军事上和国民经济中的应用。

(1) 红外辐射的性质，其中有受热物体所发射的辐射在光谱、强度和方向的分布；辐射在媒质中的传播特性——反射、折射、衍射和散射；热电效应和光电效应等。

(2) 红外元件、部件的研制，包括辐射源、微型制冷器、红外窗口材料和滤光电等。

(3) 把各种红外元、部件构成系统的光学、电子学和精密机械。

(4) 红外技术在军事上和国民经济中的应用。由此可见，红外技术的研究涉及的范围相当广泛，既有目标的红外辐射特性，背景特性，又有红外元、部件及系统；既有材料问题，又有应用问题。

2. 红外技术的应用

红外应用产品种类繁多，本节仅选择红外热像、红外摄像、红外通信、红外光谱仪、红外传感器等几个比较大的领域进行介绍。

(1) 红外热像仪



图 7-5-1 红外热像仪

红外热像仪(如图 7-5-1 所示)行业是一个发展前景非常广阔的新兴高科技产业，也是红外应用产品中市场份额最大的一块，在军、民两个领域都有广泛的应用。红外热像仪在现代战争条件下的卫星、导弹、飞机等军事武器上获得了广泛的应用。同时，随着非制冷红外热成像技术的生产成本大幅度降低，该产品的应用已延伸到了电力、消防、工业、医疗、安防等国民经济各个部门。过去国内市场一直由 FLIR、FLUKE 等国外知名企业占领。不过最近 10 年来，这个领域发生了可喜的变化，国内红外热像仪企业在产品技术、性能和质量等方面的改进，市场份额逐步扩大，涌现出了大立科技、昆明北方红外、武汉高德、飒特红外等知名企业，经过几年的发展，这些企业已经积累相当的技术力量。

目前国产产品在性能上已经和进口产品接近，但进口产品的价格高出国内产品 50%以上。随着红外热像仪在消防、电力、建筑等行业的扩张，国际民用红外热像仪行业迎来了市场需求的快速增长期。2004 年全球民用红外热像仪及系统产量约为 5 万台，而 2006 年，仅 FILR 公司就取得了宝马汽车公司为其新款 7 系列轿车配备的红外热像仪订单，并获得了美国政府 35 万台的出口许可申请。2006 年全球民用红外热像仪的销售额为 16.3 亿美元，同比增长 17.35%。

据美国著名高科技行业咨询公司 Maxtech International 的预测，未来 5 年全球民用红外热像仪市场需求年均增长率将达到 15%，到 2012 年，全球民用红外热像仪的市场需求将达到 38.12 亿美元。由于国内经济高速发展，中国红外热像仪市场的年均增长率可以达到 20%，到 2011 年中国民用红外热像仪市场的需求量可以达到 9.95 亿元。以美国为例，2000 年，美国红外成像与红外测温系统的市场销售总额为 18.2 亿美元，比 1999 年增长了 3%，到 2008 年，总的市场销售额达到 28.2 亿美元，年综合增长率达到 6.5%。

“我国红外热像仪市场还处于起步阶段，未来发展空间巨大。”中国光学学会常务理事兼秘书长倪国强先生在中国光电产业高层论坛上如此评论。在发达国家的军用领域，红外热像仪已得到非常广泛的配置，例如海湾战争中平均每个美国士兵配备 1.7 俱红外热像仪。与发达国家相比，目前我国军队中红外热像仪的应用相对较少，其市场远景需求量相当巨

大。随着高性能多色红外焦平面以及智能灵巧型片上图像处理技术的发展，预计这一比例还将继续增长。

(2) 红外摄像机

随着北京奥运会、上海世博会、广州亚运会等国内大型活动的召开和增加，对安全的要求越来越严格，越来越多的场所需要24小时持续监控。红外线在夜间监视的应用更加突出，不仅金库、油库、军械库、图书文献库、文物部门、监狱等重要部门采用，而且也在一般监控系统中也被广泛采用，甚至居民小区监控工程也应用了红外线摄像机，带动了红外摄像市场的持续升温。



图 7-5-2 红外摄像机

根据2006年的一份调查报告，相比红外热像仪，红外摄像机(见图7-5-2)的技术门槛不高，目前大部分国内市场被国内品牌占据，外国品牌只占据了一部分高端市场。从国内红外摄像机分布来看，深圳最多，占总数的64%，与东莞、浙江形成了我国的三大产业基地。我国的红外摄像企业以生产、贸易为主，能够自主创新的不多。未来提高自主研发能力将是发展的主要方向，只有这样才能向全球扩张、赚取更高的利润。

(3) 红外通信

红外通信，顾名思义，就是通过红外线传输数据。在计算机技术发展早期，数据都是通过线缆传输的，线缆传输连线麻烦，需要特制接口，颇为不便。于是后来就有了红外、蓝牙、802.11等无线数据传输技术。

传统的红外通信应用主要在与家电和汽车防盗遥控器方面，由于调制技术、相关收发器技术的快速发展，红外传输应用也发生了质的飞跃。1993年国际红外线协会在美国成立，积极整合建立红外传输的标准，极大地推动了红外产品的发展。

2000年全球已有1.7亿台配有国际红外线协会模组的电子产品进入市场，尤其在电子游戏机市场有极大的潜力。2001年，在信息收发模组方面，由于国际红外线协会模组的价格已从早期的5美元降至2美元，国际大厂纷纷在亚太地区一些劳动力相对低廉的地方寻求加工场所，估计年产值将有1亿多美元的规模，当时一些IC设计公司、系统与应用软件厂商已积极投入应用产品的研究与生产，目前已经形成一定规模。

个人笔记本电脑、PDA、数码相机等产品的普及带动了红外传输的发展。国际红外线协会1994年推出了1.0版红外线资料交换标准，传输速度为115.2kbps，目前的最大传输速率已达4Mbps以上。2006年，红外无线技术已经有了庞大的用户群。当时红外数据通信技术(IRDA)已拥有每年一亿五千万套的设备安装量，并且它保持着每年以40%的高速增长。手机市场上，各大主流厂商也早已在其产品中配套支持了红外通信技术。从当前的情况来看，红外技术无论是从应用覆盖度、技术成熟度和用户接受度来说，都在各类无线通信技术中处于领先地位。



图 7-5-3 红外光谱仪

(4) 红外光谱仪

红外光谱仪(见图7-5-3)主要用于化学物理

分析领域，可应用于各种物理化学实验室、石油、农业、检测等领域。按应用范围可分为通用型红外光谱仪和专用红外光谱仪，按波长范围分可分为近红外光谱仪和远红外光谱仪，目前以近红外光谱仪为主。现代近红外光谱分析技术包括了近红外光谱仪、化学计量学软件和应用模型三部分。只有三者的完美结合才能达到高性能的要求。目前近红外专用光谱仪器的研制及应用在国内已受到很多专家的关注，并已开发研制出一批适应国内分析对象的仪器及应用软件。例如，中国石油科学院的一批年轻学者在陆婉珍院士的带领下，研制和开发出了有我国自主知识产权的近红外专用光谱仪器及其在我国石油科学中应用的一些软件；以北京农业大学严衍禄教授领导的"中国农业近红外分析技术网络系统"课题已完成研制和开发了有自主知识产权的、适用于中国农业产品品质的分析的软件；相秉仁教授在中国药科大学分析计算中心建立了互联网近红外光谱分析虚拟建模中心，进行近红外光谱分析的建模和数学模型维护等工作，并建立了一些中草药近红外分析的数学模型。

2006年年初，国家食品药品监督管理局(SFDA)通过招标的方式订购了总计超过300余台进口傅里叶变换近红外光谱仪。财政部拨款和加上后续的维护费，共5亿元人民币的资金。假如能够实现国产的话，可以节省一大笔外汇。我国目前的相关企业有聚光、英贤、大连依利特、东西电子、普析通用等，主要做低端产品，高端产品还无法和国外抗衡。

国产的通用型红外光谱仪FT-IR主要是北分瑞利分析仪器公司引进的美国Analect公司技术生产的几种不同型号、不同档次的产品，但是量很少。专用红外光谱仪方面，近红外光谱的一些专用红外光谱仪在国内有较大的潜在市场，主要是在农业中农产品品质分析和石油化工中石油产品生产过程中质量控制及产品品质分析中有很大的市场。但是由于近红外分析需要根据分析对象引入一些数学模型，分析对象不一样，其数学模型也有所不同。因此，国外的近红外专用光谱仪所带的分析软件(是根据国外的分析对象的数学模型设计的)，并不一定适合于国内的分析对象，致使近年来引进的一些近红外专用光谱仪器在国内并没有发挥多大作用，加之国外近红外专用光谱仪器价格又偏高，国内进口的近红外专用光谱仪器并不多。

(5) 红外传感器

在实现远距离温度监测与控制方面，红外温度传感器(见图7-5-4)以其优异的性能，满足了多方面的要求。在产品加工行业，特别是需要对温度进行远距离监测的场合，都是温度传感器大显身手的地方。在食品行业红外温度可以在不被污染的情况下实现食品温度记录，因此备受欢迎。光纤红外传感器还具有抗电磁和射频干扰的特点，这为便携式红外传感器在汽车行业中的应用又开辟了新的市场。

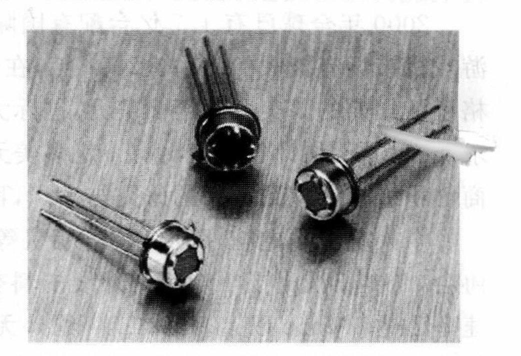


图7-5-4　红外传感器

随着红外测温技术的普遍应用，一种新型的红外技术——智能数字红外传感技术正在悄然兴起。这种智能传感器内置微处理器，能够实现传感器与控制单元的双向通信，具有小型化、数字通信、维护简单等优点。当前，各传感器用户纷纷升级其控制系统，智能红外传感器的需求量将会继续增长，预计短期内市场还不会达到饱和。

另外，随着便携式红外传感器的体积越来越小，价格逐渐降低，在食品、采暖空调和汽车等领域也有了新的应用。比如用在食品烘烤机、理发吹风机上，红外传感器检测温度是否过

热，以便系统决定是否进行下一步操作，如停止加热，或是将食品从烤箱中自动取出，或是使吹风机冷却等。随着更多的用户对便携式红外温度传感器的了解，其潜在用户正在增加。

由于红外温度传感器在实现远距离控温及无接触测温等方面的优势，使其产量每年以10%的速度增长。在1996年至1997年间，其产量从15.5万只增长到23万只；总销售额也从2.3亿美元增长到3亿美元。2006年，市场销售总额将达到5.576亿美元，总产量将超过48.9万只。

对于红外传感器的全球市场，第三世界国家将比欧美更加看好。虽然欧美很多工业国家加工业广泛，但其市场已趋向饱和；而在中国以及拉美一些新兴国家和地区，随着其经济的复苏与发展，各国各地区纷纷加强工业化建设，加工厂不断增多，红外传感器在该区域的销量每年以2%～5%的速度增长，并且其市场销量还处于增长趋势。

3. 红外技术的军事应用

产生红外辐射的物体就是红外辐射源。物理学的研究告诉我们，在自然界中，任何温度高于绝对零度（0K或－273℃）的物体都在向外辐射各种波长的红外线，物体的温度越高，其辐射红外线的强度也越大。我们根据各类目标和背景辐射特性的差异，就可以利用红外技术在白天和黑夜对目标进行探测、跟踪和识别，以获取目标信息。在现代战争中，获取战场信息的优势已经成为掌握战争主动权的关键，红外技术是从空中和空间获取战场信息的关键技术之一，因此，许多国家均投入很大的人力和物力去研究红外技术，并将其广泛地应用于军事领域，并产生巨大影响。一切军事目标，如海洋中的舰船、地面部队行动及各种装备、空中的飞机、导弹，都会散发热量，发出大量的红外辐射。利用红外技术装备，就可以从空中对这些目标进行侦察、监视与跟踪。如侦察卫星依靠红外成像设备和多光谱仪可以全天候地获取大量的军事情报。我国装有红外探测器的导弹预警卫星自20世纪70年代以来，一直监视着世界各国的弹道导弹发射，为国家军事指挥部门提供情报。国外在此方面也不甘落后，如目前美国国防支援计划中的预警卫星在几十秒钟内，就可以鉴别来袭导弹的发射和方向，据说将来美国的天基红外系统可在20s内，提供有关导弹发射和方向方面的精确信息，为拦截来袭导弹提供宝贵的预警时间。又如，在1991年的海湾战争中，美国的导弹预警卫星把伊拉克的所有导弹发射尽收眼底，然后及时地把有关信息传送给美军的“爱国者”导弹部队，使“爱国者”导弹有效地拦截了伊方的“飞毛腿”导弹。

7.5.4 红外接口及接口特点

红外接口是新一代手机的配置标准，它支持手机与计算机以及其他数字设备进行数据交流。红外通信有着成本低廉、连接方便、简单易用和结构紧凑的特点，因此在小型的移动设备中获得了广泛的应用。通过红外接口，各类移动设备可以自由进行数据交换。

配备有红外接口的手机进行无线上网非常简单，不需要连接线和PC卡片，只要设置好红外连接协议就能直接上网。

红外接口是目前在世界范围内被广泛使用的一种无线连接技术，被众多的硬件和软件平台所支持；通过数据电脉冲和红外光脉冲之间的相互转换实现无线的数据收发。其特点如下。

(1) 用来取代点对点的线缆连接；

(2) 新的通信标准兼容早期的通信标准；

(3) 小角度(30°锥角以内),短距离,点对点直线数据传输,保密性强;

(4) 传输速率较高,目前4Mbps速率的高速红外(FIR)技术已被广泛使用,16Mbps速率的超高速红外(VFIR)技术已经发布。

7.6 ZigBee技术

ZigBee技术是一种近距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的双向无线通信技术,主要用于距离短、功耗低且传输速率不高的各种电子设备之间的数据传输以及典型的、有周期性数据、间歇性数据和低反应时间数据的传输。

7.6.1 ZigBee技术简介

ZigBee是IEEE 802.15.4协议的代名词。但是它不是协议,而是根据这个协议规定的技术是一种短距离、低功耗的无线通信技术。

ZigBee是一种高可靠的无线数据传输网络,类似于CDMA和GSM网络。ZigBee数传模块类似于移动网络基站。通信距离从标准的75m到几百米、几千米,并且支持无限扩展。

ZigBee是一个由多到65000个无线数传模块组成的一个无线数传网络平台,在整个网络范围内,每一个ZigBee网络数传模块之间可以相互通信,每个网络节点间的距离可以从标准的75m无限扩展。

与移动通信的CDMA网或GSM网不同的是,ZigBee网络主要是为工业现场自动化控制数据传输而建立的,因而,它必须具有结构简单、使用方便、工作可靠、价格低的特点。而移动通信网主要是为语音通信而建立的,每个基站价值一般都在一百万元人民币以上,而每个ZigBee"基站"的价值却不到1000元人民币。每个ZigBee网络节点不仅本身可以作为监控对象,例如其所连接的传感器直接进行数据采集和监控,还可以自动中转别的网络节点传过来的数据资料。除此之外,每一个ZigBee网络节点(FFD)还可在自己信号覆盖的范围内,和多个不承担网络信息中转任务的孤立的子节点(RFD)实现无线连接。

7.6.2 ZigBee技术的起源

ZigBee,在中国被译为"紫蜂"。它与蓝牙相类似,是一种新兴的短距离无线技术,用于传感控制应用。此想法在IEEE 802.15工作组中提出,于是成立了TG4工作组,并制定了规范IEEE 802.15.4。因此ZigBee的底层技术基于IEEE 802.15.4。物理层和MAC层直接引用了IEEE 802.15.4。

ZigBee的发展历程为:2002年,ZigBee Alliance成立。2004年,ZigBee V1.0诞生,它是ZigBee的第一个规范。但由于推出仓促,存在一些错误。2006年,推出ZigBee 2006,这个版本比较完善。2007年年底,推出ZigBee PRO。

7.6.3 ZigBee的技术特点

ZigBee是一种无线连接,可工作在2.4GHz(全球流行)、868MHz(欧洲流行)和915MHz(美国流行)3个频段上,分别具有最高250kbps、20kbps和40kbps的传输速率。它的传输距离为10~75m,尚可以继续增加。作为一种无线通信技术,ZigBee具有以下特点。

(1) 低功耗：由于ZigBee的传输速率低，发射功率仅为1mW，而且采用了休眠模式，功耗低，因此ZigBee设备非常省电。据估算，ZigBee设备仅靠两节5号电池就可以维持6个月～2年的使用时间。这是其他无线设备望尘莫及的。

(2) 成本低：ZigBee模块的初始成本在6美元左右，估计很快就能降到1.5～2.5美元，并且ZigBee协议是免专利费的。低成本对于ZigBee也是一个关键的因素。

(3) 时延短：通信时延和从休眠状态激活的时延都非常短，典型的搜索设备时延30ms，休眠激活的时延是15ms，活动设备信道接入的时延为15ms。因此ZigBee技术适用于对时延要求苛刻的无线控制(如工业控制场合等)应用。

(4) 网络容量大：一个星形结构的ZigBee网络最多可以容纳254个从设备和一个主设备，一个区域内可以同时存在最多100个ZigBee网络，而且网络组成灵活。

(5) 可靠：采取了碰撞避免策略，同时为需要固定带宽的通信业务预留了专用时隙，避开了发送数据的竞争和冲突。MAC层采用了完全确认的数据传输模式，每个发送的数据包都必须等待接收方的确认信息。如果传输过程中出现问题可以进行重发。

(6) 安全：ZigBee提供了基于循环冗余校验(CRC)的数据包完整性检查功能，支持鉴权和认证，采用了AES-128的加密算法，各个应用可以灵活确定其安全属性。

(7) 近距离：传输范围一般为10～100m，在增加RF发射功率后，亦可增加到1～3km，这指的是相邻节点间的距离。如果通过路由和节点间通信的接力，传输距离将可以更远。

(8) 免执照频段：采用直接序列扩频在工业科学医疗(ISM)频段，2.4GHz(全球)、915MHz(美国)和868MHz(欧洲)。

7.6.4 ZigBee联盟

ZigBee联盟是一个高速成长的非营利业界组织，成员包括国际著名半导体生产商、技术提供者、技术集成商以及最终使用者。联盟制定了基于IEEE802.15.4，具有高可靠、高性价比、低功耗的网络应用规格。

ZigBee联盟的主要目标是以通过加入无线网络功能，为消费者提供更富有弹性、更容易使用的电子产品。ZigBee技术能融入各类电子产品，应用范围横跨全球的民用、商用、公共事业以及工业等市场。使得联盟会员可以利用ZigBee这个标准化无线网络平台，设计出简单、可靠、便宜又节省电力的各种产品来。

ZigBee联盟的重点是：制定网络、安全和应用软件层；提供不同产品的协调性及互通性测试规格；在世界各地推广ZigBee品牌并争取市场的关注；管理技术的发展。

ZigBee联盟对ZigBee标准制定的进展：IEEE802.15.4的物理层、MAC层及数据链路层标准已在2003年5月发布；ZigBee网络层、加密层及应用描述层的制定也取得了较大的进展，V1.0版本已经发布；其他应用领域及其相关的设备描述也会陆续发布。由于ZigBee不仅是802.15.4的代名词，而且IEEE802.15.4仅处理低级MAC层和物理层协议，因此ZigBee联盟对其ZigBee的网络层协议和应用程序编码接口(API)进行了标准化。完全协议用于一次可直接连接到一个设备的基本节点的4KB或者作为Hub或路由器的协调器的32KB。每个协调器可连接多达255个节点，而几个协调器则可形成一个网络，对路由传输的数目则没有限制。ZigBee联盟还开发了安全层，以保证这种便携设备不会意外泄露其标识，而且这种利用网络的远距离传输不会被其他节点获得。

7.6.5 ZigBee技术的应用前景

ZigBee技术并不是用来与蓝牙技术或者其他已经存在的标准竞争，它的目标定位于现存的系统还不能满足其需求的特定市场。它有着广阔的应用前景。ZigBee联盟预言在未来的四到五年，每个家庭将拥有50个ZigBee器件，最后将达到每个家庭150个。到2007年，ZigBee市场价值已达到数亿美元。其应用领域主要包括以下几方面。

(1) 家庭和楼宇网络：空调系统的温度控制、照明的自动控制、窗帘的自动控制、煤气计量控制、家用电器的远程控制等；

(2) 工业控制：各种监控器、传感器的自动化控制；

(3) 商业：智慧型标签等；

(4) 公共场所：烟雾探测器等；

(5) 农业控制：收集各种土壤信息和气候信息；

(6) 医疗：老人与行动不便者的紧急呼叫器和医疗传感器等。

7.7 本章小结

本章介绍了目前应用的几种无线网络技术，分别是无线城域网、无线局域网、无线个域网。在此基础上重点介绍了WiFi、WiMax、蓝牙、红外、ZigBee这五种无线通信技术的概念、工作原理和方式、适用范围和优缺点，为服务不同的物联网业务提供不同的技术服务。

习 题

1. 按照覆盖范围的大小，宽带无线网络可以分为哪些类型？
2. 无线网络常见标准有哪些？
3. 什么是WiFi？该技术具有哪些优点和缺点？
4. 画出WiFi物理层帧结构，并简单解释其含义。
5. WiFi物理层可实现哪些功能？
6. 扩频技术分为哪几种？分别说明各种扩频技术的特点。
7. 什么是WiMax？该技术具有什么特点？
8. 什么是MIMO技术？
9. 什么是蓝牙技术？其技术特点有哪些？
10. 蓝牙系统由哪些部分组成？
11. 红外接口具有什么特点？
12. 什么是ZigBee？该技术具有什么特点？

第8章

数据库系统

物联网的蓬勃发展，使信息的收集变得更加全面、智能和深入，然而，若是缺乏有效的手段对信息进行稳定的存储、高效的组织和便捷的查询，则相当于入宝山而返，望"数据的海洋"而兴叹。幸运的是，关系数据库系统作为一项有着近半个世纪历史的数据处理技术，仍可在物联网中大展拳脚，为物联网的广泛应用提供基石。与此同时，结合互联网应用提出的新需求，数据库技术也在进行不断的更新，发展出新的方向，伴随着物联网成长。

8.1 数据库系统的基本概念

数据库，是计算机化的数据保存系统。数据库本身可视为电子化的文件柜——存储计算机化文件的处所，用户可以新增文件或者删除文件，也可以对文件中的数据运行新增、截取、更新、删除等操作。也可以表述为以一定组织方式存储在一起的，能为多个用户共享的，具有尽可能小的冗余度的、与应用彼此独立的相互关联的数据集合，是数据管理的新手段和技术，使得数据库管理数据，可以保证数据的共享性、安全性和完整性。

下面讨论一下数据与信息。

(1) 数据的概念

数据(data)是描述事物的符号记录，是信息的载体，是信息的具体表现形式。除了常用的数字数据外，文字、图形、图像、声音等信息，也都是数据。日常生活中，人们使用语言去描述事物。在计算机中，为了存储和处理这些事物，就要抽出对这些事物感兴趣的特征组成一个记录来描述。例如，在学生管理中，可以对学生的学号、姓名、性别和年龄等情况进行描述。

(2) 信息的概念

信息(information)是指新的、有用的、能够在时间和空间上传递的、以一定形式表现的事实和知识，是对各种事物的存在方式、运动状态和相互联系特征的一种表达和陈述，是自然界、人类社会和人类思维活动普遍存在的一切物质和事物的属性。信息具有实效性、有用性和知识性的特性，它是客观世界的反映。

8.1.1 数据库的起源与发展

从数据管理的角度来看，数据库技术经历了人工管理阶段、文件系统阶段和数据库系统(database management system，DBMS)三个阶段。

1. 人工管理阶段

20 世纪 50 年代中期以前，计算机主要用于科学计算。从硬件上看，外存只有磁带、卡片、纸带，没有磁盘等直接存取的存储设备；从软件上看没有操作系统，没有管理数据的软件，数据处理的方式是批处理。

这个时期数据管理的特点是：数据由计算或处理它的程序自行携带，数据和应用程序一一对应，应用程序依赖于数据的物理组织，因此数据的独立性差，数据不能被长期保存，数据的冗余度大，给数据的维护带来许多问题。

人工管理阶段应用程序与数据之间的关系如图 8-1-1 所示。

应用程序1 < … > 数据组1

应用程序2 < … > 数据组2

应用程序3 < … > 数据组3

图 8-1-1 应用程序与数据之间的关系

2. 文件系统阶段

20 世纪 50 年代后期至 20 世纪 60 年代中后期，计算机的应用范围逐渐扩大，不仅用于科学计算，还大量应用于管理。硬件方面，磁盘成为计算机的主要外存储器；软件方面，出现了高级语言和操作系统。从处理方式上讲，不仅有了文件批处理，而且能够联机实时处理。

在此阶段，数据以文件的形式进行组织，并能长期保留在外存储器上，用户能对数据文件进行查询、修改、插入和删除等操作。程序与数据有了一定的独立性，程序和数据分开存储，然而依旧存在数据的冗余度大及数据的不一致性等缺点。

3. 数据库系统阶段

自 20 世纪 60 年代后期以来，计算机应用越来越广泛，数据量急剧增加，而且数据的共享要求越来越高。计算机的硬件和软件都有了进一步的发展，硬件方面，有了大容量的磁盘；软件方面，传统的文件系统已经不能满足人们的需求，能够统一管理和共享数据的 DBMS 应运而生。所以，此阶段将数据集中存储在一台计算机的数据库中，进行统一组织和管理。从处理方式上讲，联机实时处理要求更多了，并开始提出和考虑分布处理。

8.1.2 数据库技术的特点

1. 数据结构化

数据结构化是数据库系统与文件系统的根本区别。有了 DBMS 以后，数据库中的数据不再针对某一应用，而是面向整个应用系统，它是对整个组织的各种应用(包括将来可能的应用)进行通盘考虑后建立起来的总的数据结构。这样数据不再面向特定的某个或多个应用，而是面向整个应用系统。数据冗余明显减少，实现了数据共享。

2. 较高的数据共享性，较小的数据冗余度

数据共享是指允许多个用户同时存取数据而互不影响，该特征正是数据库技术先进性的体现。数据库系统从整体角度描述数据，数据不再面向某个应用而是面向整个系统，因此数据可以被多个用户、多个应用共享使用。数据共享可以大大减少数据冗余，节约存储空间，还能够避免数据之间的不相容性与不一致性。

3. 较高的数据独立性

所谓数据独立是指数据与应用程序之间的彼此独立，它们之间不存在相互依赖的关系。应用程序不随数据存储结构的变化而变化，简化了应用程序的编制和程序员的工作负担。

数据库的独立性包括两个方面：物理数据独立，数据的存储格式和组织方法改变时，不影响数据库的逻辑结构，从而不影响应用程序；逻辑数据独立，数据库逻辑结构的变化（如数据定义的修改、数据间联系的变更等）不影响用户的应用程序。

4. 数据由 DBMS 统一管理和控制

数据库的共享是并发的共享，即多个用户可以同时存取数据库中的数据，甚至可以同时存取数据库中的同一数据。因此，DBMS 还必须提供数据控制功能。

DBMS 加入了安全保密机制，可以防止对数据的非法存取，数据的完整性保护可以保障数据的正确性、有效性和相容性，完整性检查将数据控制在有效范围内或保证数据间满足一定的关系；当多个用户的并发进程同时存取，修改数据时，可能会发生相互干扰而得到错误的结果，或使得数据库的完整性遭到破坏，因此必须对多用户的并发操作加以控制和协调；另外，数据库系统还采取了一系列措施，实现了对数据库破坏后的恢复。

8.1.3 数据库管理系统

1. 数据库管理的组成

数据库管理系统通常由以下三部分组成。

（1）数据描述语言（data description language，DDL）。为了对数据库中的数据进行存取，必须正确地描述数据以及数据之间的联系，DBMS 根据这些数据定义从物理记录导出全局逻辑记录，从而导出应用程序所需的记录。DBMS 提供数据描述语言以完成这些描述工作。

（2）数据操纵语言（data manipulation language，DML）。DML 是 DBMS 中提供应用程序员存储、检索、修改、删除数据库中数据的工具，又称数据子语言（DSL）。DML 有两种基本类型：过程化 DML 和非过程化 DML。过程化 DML 不仅要求用户指出所需的数据是什么，还要指出如何存取这些数据；非过程化 DML 只要求用户指出所需的数据而不必指出存取这些数据的过程。

（3）数据库例行程序。从程序的角度看，DBMS 是由许多程序组成的一个软件系统，每个程序都有自己的功能，它们互相配合完成 DBMS 的工作，这些程序就是数据库管理例行程序。在 DBMS 中，这些程序主要有以下三种：语言处理程序、系统运行控制程序、日常管理和服务性程序。

2. 数据库管理系统的层次结构

根据处理对象的不同，数据库管理系统的层次结构由高级到低级依次为应用层、语言翻译处理层、数据存取层、数据存储层、操作系统。

（1）应用层

应用层是 DBMS 与终端用户和应用程序的界面层，处理的对象是各种各样的数据库应用。

（2）语言翻译处理层

语言翻译处理层是对数据库语言的各类语句进行语法分析、视图转换、授权检查、完整性检查等。

（3）数据存取层

数据存取层处理的对象是单个元组，它将上层的集合操作转换为单记录操作。

(4) 数据存储层

数据存储层处理的对象是数据页和系统缓冲区。

(5) 操作系统

操作系统是 DBMS 的基础。操作系统提供的存取原语和基本的存取方法通常是作为和 DBMS 存储层的接口。

3. 数据库管理系统的性能

数据管理技术的发展大致经历了人工管理阶段(20 世纪 50 年代中期前)、文件系统阶段(20 世纪 50 年代后期到 20 世纪 60 年代中期)、数据库阶段(20 世纪 60 年代末到 20 世纪 70 年代末)和高级数据库技术阶段(20 世纪 80 年代初开始)。

数据库管理系统(DBMS)是一种负责数据库的定义、建立、操作、管理和维护的软件系统。其目的是保证数据安全可靠,提高数据库应用的简明性和方便性。DBMS 的工作机理是把用户对数据的操作转化为对系统存储文件的操作,有效地实现数据库 3 级之间的转化。数据库管理系统的主要职能有数据库的定义和建立、数据库的操作、数据库的控制、数据库的维护、故障恢复和数据通信。

4. 数据库技术中数据管理方式的特点

(1) 采用复杂的数据模型表示数据结构,数据冗余小,易扩充,实现了数据共享。

(2) 具有较高的数据和程序独立性,数据库的独立性有物理独立性和逻辑独立性。

(3) 数据库系统为用户提供了方便的用户接口。

(4) 数据库系统提供 4 个方面的数据控制功能,分别是并发控制、恢复、完整性和安全性。数据库中各个应用程序所使用的数据由数据库系统统一规定,按照一定的数据模型组织和建立,由系统统一管理和集中控制。

(5) 增加了系统的灵活性。

5. 数据库管理系统的功能

以下两种功能使数据库管理系统区别于其他设计系统。

(1) 管理固有数据的能力。它只是表明现有一个固定存在的数据库,而这个数据库的内容也就是 DBMS 所要访问和管理的那些数据。

(2) 高效访问大量数据的能力。它将 DBMS 和同样能管理固有数据的文件系统区分开来。通常在数据量非常大的时候才需要用到 DBMS 系统的功能,因为对于小量数据而言,简单的访问技术(如对数据的线性扫描)就足够了。

虽然我们将以上两点作为 DBMS 的基本特性,但是其他一些功能也是在商业 DBMS 系统中常见的,它们分别是:

(1) 支持至少一种用户可以据之浏览数据的数据模式或数学提取方式。

(2) 支持某种允许用户用来定义数据的结构、访问和操纵数据的高级语言。

(3) 事务管理,即对多个用户提供正确、同时访问数据库的能力。

(4) 访问控制,即限制未被授权用户对数据的访问能力,以及检测数据有效性的能力。

(5) 恢复功能,即能够从系统错误中恢复过来而不丢失数据的能力。

6. 数据模型

每个 DBMS 提供了至少一种允许用户不是以原始比特位的方式,而是以更容易理解的术语来观看信息的抽象数据模型。实际上,通常要观察以几个不同级别提取出来的数据是

可能的。在相关的低级别中,DBMS一般允许我们将数据形象化为文件的组成部分。

7. 高效数据访问

存储一个文件的能力并不特别,操作系统中结合的文件系统都能够如此。DBMS的能力在我们访问文件的数据时才能显露出来。比如,假设我们希望找到员工经理"克拉克·肯特"。如果这个公司有上万员工,则要通过NAME="克拉克·肯特"搜索整个文件来找到这个人是非常费时的。而DBMS帮助我们建立"索引文件"或"索引",不管文件有多大,它都使我们能够一举访问到"克拉克·肯特"的记录。同样地,新记录的插入或者原有记录的删除都可以在较短并且本质上恒定的时间内完成,而不依赖于文件的长度。DBMS还可以帮助我们进行文件间的导航,即通过结合两个或更多文件的值来获得所需的信息。

8. 查询语言

为了使访问文件更容易,DBMS提供了查询语言(或者说数据控制语言)来表达对文件的操作。查询语言对用户所提供细节的详细程度要求有所不同,基于关系数据模型的系统通常比基于其他模型的系统所需的细节要少。

9. 事务管理

DBMS的另外一项重要功能就是同时管理大量事务的能力。事务即是数据库中运行的进程。某些数据库是如此之大,它们只有在被多台计算机同时操作时才有用武之地。通常这些计算机分散在全国甚至世界各地。银行中使用的数据库系统就是这类数据库的一个典型,它们几乎同时被成千上万的自动取款机所访问,也同时被同样多甚至更多的支行员工所访问。机票预订系统是另一个好例子。

两个访问不会互相打扰。举例说,任意多的事务可以同时读取你银行的结余而不引起任何冲突。但是如果你正在银行里查询工资,与此同时,你的爱人在一台自动取款机上取款,两个事务同时发生且没有彼此协调,那你的查询结果就很难说了。因此,会引起数据项改变的事务必须"上锁",将其他在同一时刻试图读写该项数据的事务关在外面。因此,DBMS必须提供某种并发控制状态以阻止多个事务对于同一数据项的非协调访问。更复杂的问题发生在数据库分布在许多不同计算机系统上时,它们多半使用数据副本允许高速的本地访问以及避免由于某台计算机崩溃而破坏数据。

10. 数据安全

DBMS不只可以在计算机崩溃时保护数据不被丢失,正如上文提到的那样,而且它还能够阻止非法访问。比如,只有拥有特定权限的用户可以访问职工文件的工资区域,DBMS还能结合不同用户的权利来判定他们有权看到哪些文件,文件的哪些区域或者数据库中数据的哪些子集。因此DBMS必须拥有一个表,表中给出每个用户对于每个对象的访问权限。比如,某个用户可能被允许读取文件,但不能够插入或删除数据;另一个用户可能根本都不被允许看文件,而第三个用户可能被允许读取或随意修改文件。

8.1.4 数据库应用系统

数据库应用系统(database application system,DBAS)是由数据库系统、应用程序系统、用户组成的,具体包括数据库、数据库管理系统、数据库管理员、硬件平台、软件平台、应用软件和应用界面。数据库应用系统的7个部分以一定的逻辑层次结构方式组成一个有机的整体,它们的结构关系是:应用系统、应用开发工具软件、数据库管理系统、操作系统和硬件。

例如，以数据库为基础的财务管理系统、人事管理系统和图书管理系统等。无论是面向内部业务和管理的管理信息系统，还是面向外部，提供信息服务的开放式信息系统，从实现技术角度而言，都是以数据库为基础和核心的计算机应用系统。本节将先介绍 DBAS 的三级模式结构。

数据库系统的体系结构从不同的角度可有不同的划分方式。从数据库管理系统的角度可分为三层，从外到内依次为外模式、概念模式和内模式，如图 8-1-2 所示。

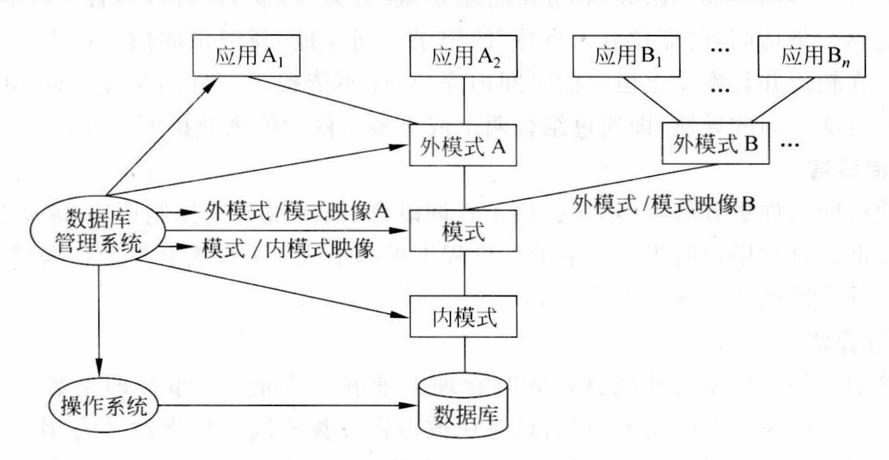


图 8-1-2 数据库系统的三层模式结构

数据库的三层结构是数据的三个抽象级别。用户只要抽象地处理数据，而不必关心数据在计算机中如何表示和存储。

为了实现三个抽象级别的联系和转换，数据库管理系统在三层结构之间提供了两层映像：外模式/模式映像和模式/内模式映像。

下面分别介绍三层模式结构和两层映像功能。

1. 三层模式结构

(1) 外模式

外模式(external schema)称为用户模式，是数据库用户和数据库系统的数据库用户的数据视图(view)，是数据库用户可以看见和使用的局部数据的逻辑结构描述，是与某一应用有关的数据的逻辑表示。

一个数据库通常只能有一个概念模式，但是却允许有多个外模式。当不同用户在应用需求保密级别等方面存在差异时，其外模式描述就会有所不同。一个应用程序只能使用一个外模式，但同一外模式可为多个应用程序所使用。

外模式是用户与数据库的接口，是应用程序可见到的数据描述。它由若干个外部"记录型"组成。用户使用数据操作语言对数据库进行操作，实际上就是对外模式的记录型进行操作。用户对数据库的操作，只能与外模发生联系，按照外模式的结构来使用数据库，这又是保证数据库安全性的一个有力措施。

(2) 概念模式

概念模式(conceptual schema)又称为逻辑模式(logical schema)，是所有数据库用户的公共数据视图，是数据库中全部数据的逻辑结构和特征的描述。

一个数据库只有一个模式。其中概念模式可用实体联系模型来描述，逻辑模式以某种数据模型(比如关系模型)为基础，综合考虑所有用户的需求，并将其形成全局逻辑结构。模

式不但要描述数据的逻辑结构，比如数据记录的组成，各数据项的名称、类型、取值范围，而且要描述数据之间的联系、数据的完整性、安全性要求。

（3）内模式

内模式（internal schema）又称为存储模式（storage schema），是数据库物理结构和存储方式的描述，是数据在数据库内部的表示方式。

一个数据库只有一个内模式。内模式描述记录的存储方式、索引的组织方式、数据是否压缩、是否加密等。但内模式并不涉及物理记录，也不涉及硬件设备，比如，对硬盘的读写操作是由操作系统（其中的文件系统）来完成的。

在三层模式结构中，数据库模式是数据库的核心与关键，外模式通常是模式的子集。数据按外模式的描述提供给用户，按内模式的描述存储在硬盘上，而模式介于外、内模式之间，既不涉及外部的访问，也不涉及内部的存储，从而起到隔离作用，有利于保持数据的独立性。

内模式依赖于全局逻辑结构，但可以独立于具体的存储设备。

2. 两层映像功能

所谓映像（mapping）就是一种对应规则，说明映像双方如何进行转换。

（1）外模式/概念模式映像

通过外模式与模式之间的映像把描述局部逻辑结构的外模式与描述全局逻辑结构的模式联系起来。由于一个模式与多个外模式对应，因此，对于每个外模式都有一个外模式/概念模式映像用于描述该外模式与模式之间的对应关系。外模式/概念模式映像通常放在外模式中描述。

有了外模式/概念模式映像，当概念模式改变时，比如增加新的属性、修改属性的类，模式/模式映像做相应的改变，使外模式保持不变。则以外模式为依据的应用就不受影响，从而保证了数据与程序之间的逻辑独立性，也就是数据的逻辑独立性。

（2）概念模式/内模式映像

通过概念模式与内模式之间的映像把描述全局逻辑结构的模式与描述物理联系起来。由于数据库只有一个概念模式，也只有一个内模式，因此，概念模式/内模式映像也只有一个，通常就放在内模式中描述。

有了概念模式/内模式映像，当内模式改变时，比如存储设备或存储方式有所改变，只要对概念模式/内模式映像做相应的改变，使概念模式保持不变，则应用程序就不受影响，从而保证了数据与程序之间的物理独立性，也就是数据的物理独立性。

从上面的介绍可以看出，由于有两层映像，在内模式发生变化，甚至概念模式发生变化时，都可以使外模式在最大限度上保持不变。由于应用程序是在外模式所描述的数据结构的基础上编写的，外模式的稳定性就保证了应用程序的稳定性。而这正是数据库结构采用三层模式、两层映像为系统提供了高度的数据独立性所得到的结果。

8.2 关系数据库

关系数据库软件是当前最主要的数据处理软件。自从2002年后，关系数据库便进入了强劲的增长期。据市场研究公司IDC发表的报告称，2008年全球关系数据库市场的销售收入大约为204.97亿美元，而在2003年，这个数字还仅为70亿美元。

同早期的数据库相比，关系数据库的优势有以下几点。

(1) 高度的数据独立性，数据对上层应用程序保持透明。底层数据的修改和文件组织的改变并不影响上层的应用程序。

(2) 开放的数据语意、数据一致性、数据冗余性。支持基于数据语意的操作，保持数据的一致性，并允许数据存在一定的冗余。

(3) 灵活的自定义数据操作语言。开发者可自由地增加操作数据的语言。

8.2.1 关系数据结构

关系模型的数据结构非常简单。在关系数据模型中，现实世界的实体以及实体间的各种联系均用关系来表示。在用户看来，关系模型中数据的逻辑结构是一张二维表。

1. 关系的定义和性质

关系就是一张二维表格，但并不是任何二维表都称为关系，我们不能把日常生活中所用的任何表格都当成一个关系直接存放到数据库里。关系数据库要求其中的关系必须具有以下性质。

(1) 列是同质的，即每一列中的分量是同一类型的数据，来自同一个域。

(2) 在同一个关系中，不同的列的数据可以是同一种数据类型，但各属性的名称都必须是互不相同的。

(3) 同一个关系中，任意两个元组都不能完全相同。

(4) 在一个关系中，列的次序无关紧要，即列的排列顺序是不分先后的。

(5) 在一个关系中，元组的位置无关紧要。即排行不分先后，可以任意交换两行的位置。

关系中的每个属性必须是单值，即不可再分，这就要求关系的结构不能嵌套。这是关系应满足的最基本的条件。

例 8.1 有一个学生表如表 8-2-1 所示，这种表格就不是关系，应对其进行结构上的修改，才能成为数据库中的关系。

表 8-2-1 学生关系和成绩关系

学号	姓名	性别	系编号	成绩		
				程序设计	英语	高数
2005002	张三	男	01	77	84	86
2005025	李四	女	02	65	88	76
2005023	刘明	男	03	89	78	82

对于该复合表，可以把它转化成一个关系，即学生成绩关系，也可以转化成两个关系，即学生关系和成绩关系，见表 8-2-2 所示。

表 8-2-2 学生关系和成绩关系

学生表				成绩表			
学号	姓名	性别	系编号	学号	程序设计	英语	高数
2005002	张三	男	01	2005002	77	84	86
2005025	李四	女	02	2005025	65	88	76
2005023	刘明	男	03	2005023	89	78	82

所以，关系是一种规范化了的二维表格；是一个属性数目相同的元组的集合。集合中的元素是元组，每个元组的属性数目应该相同。

在关系数据模型中，实体以及实体之间的联系都是用关系来表示的，它是通过关系当中的冗余属性（一般是主码和外码的关系）来实现实体之间的联系。上例中学生关系和成绩关系就是通过"学号"属性实现的一对一联系，即一个学生只有一行成绩，而一行成绩也只属于一个学生。

2. 关系模式

关系数据库中，关系模式（relation schema）是型，关系是值；关系模式是对关系的描述。因此关系模式必须指出这个元组集合的结构，即它由哪些属性构成，这些属性来自哪些域，以及属性与域之间的映像关系。

（1）关系模式的定义

关系的描述称为关系模式。一个关系模式应当是一个五元组。关系模式可以形式化地表示为

$R(U, D, dom, F)$

其中，R 是关系名；U 是组成该关系的属性名集合；D 是属性组 U 中属性所来自的域；dom 是属性向域的映像集合；F 是属性间的数据依赖关系集合。关系模式是一个五元组。

关系模式通常可以简记为

$R(U)$ 或 $R(A_1, A_2, \cdots, A_n)$

其中，R 是关系名，$A_1, A_2, \cdots, A_n$ 为属性名；域名及属性向域的映像，通常直接说明为属性的类型、长度。

关系实际上就是关系模式在某一时刻的状态或内容。也就是说，关系模式是型，关系是它的值。关系模式是静态的、稳定的，而关系是动态的，随时间变化而不断变化的，因为关系操作在不断地更新着数据库中的数据。

（2）关系模式的图形表示

关系模式的五元组可以用图 8-2-1 来说明。

关系是关系模式在某一时刻的状态或内容。关系操作在不断地更新着数据库中的数据。但在实际中，人们常常把关系模式和关系统称为关系，这不难从上下文中加以区别。

3. 关系数据库

关系数据库（relational database）是一组具有不同名称的关系的集合。关系数据库就是采用关系模型的数据库。关系数据库有型和值的区别，关系数据库的型是指对关系数据库的描述，它包括若干个关系模式；关系数据库的值是这些关系模式在某一时刻对应的关系的集合。

在一个给定的应用领域中，所有实体及实体之间联系的关系的集合构成一个关系数据库。关系数据库的型也称为关系数据库模式，是对关系数据库的描述，它包括若干域的定义以及在这些域上定义的若干关系模式。关系数据库的值是这些关系模式在某一时刻对应的关系的集合，通常称为关系数据库。

在关系数据库中，数据模型不仅定义了数据库的结构（关系、属性、元组等），而且提供了查询数据、修改数据的方法。这些操作基于一种称为"关系代数"的特殊代数运算。关系代数并不复杂，其功能却相当强大。利用关系代数，可以查询关系里的数据，利用修改关系中

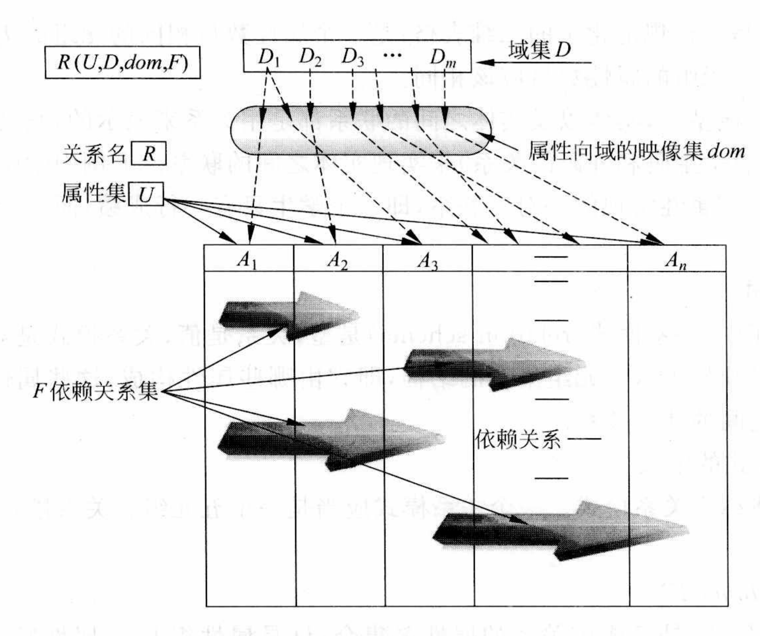


图 8-2-1 关系模式的图形表示

的数据，其甚至可以基于现有的关系创造出新的关系来。在数据库发展的初期，关系代数直接被用作查询语言。

8.2.2 关系的完整性

数据完整性是指关系模型中数据的正确性与一致性。在系统的运行过程中，为了保持各表数据的正确和一致，通常结合数据操作语言设置一些“完整性规则”，对表中的数据进行约束。关系模型的完整性规则一般分为三类：实体完整性(entity integrity)，参照完整性(referential integrity)和用户自定义的完整性(user-defined integrity)。

1. 实体完整性规则

实体完整性规则要求关系中元组在组成主码的属性上不能有空值。如果出现空值，那么主码值就起不了唯一标识元组的作用，例如学生表中的学号属性不能为空。

关系模型必须遵守实体完整性规则的原因是以下几点。

(1) 实体完整性规则是针对基本关系而言的。一个基本表通常对应现实世界的一个实体集或多对多联系。

(2) 现实世界中的实体和实体间的联系都是可区分的，即它们具有某种唯一性表示。

(3) 空值就是“不知道”或“无意义”的值。主属性取空值，就说明存在某个不可标识的实体，这与原因(2)矛盾。

2. 参照完整性规则

参照完整性规则适用于约束外码的数据。例如在上述的引例数据库中，“学生的信息表”中的“学号”来自于“学生表”的外码，其数据只能在“学生表”内“学号”已有的数据中选择。换言之，输入学生信息表中的“学号”的值，必须参照学生表“学号”字段中的已有值，否则无效。

设 F 是基本关系 R 的一个或一组属性，但不是关系 R 的码，如果 F 与基本关系 S 的主

码K_s相对应，则称F是基本关系R的外码，并称基本关系R为参照关系（referencing relation），基本关系S为被参照关系（referenced relation）或目标关系（target relation）。

参照完整性规则（reference integrity rule）：若属性（或属性组）F是基本关系R的外码，它与基本关系S的主码K_s相对应（基本关系R和S可能是相同的关系），则对于R中每个元组在F上的值必须为，或者取空值（F的每个属性值均为空值）；或者等于S中某个元组的主码值。

例：学生实体和专业实体可以用下面的关系表示，其中主码用下画线标识：

学生（学号，姓名，性别，年龄，系别号）

系别（系别号，系名）

学生关系的“系别号”与系别关系的“系别号”相对应，因此，“系别号”属性是学生关系的外码，是系别关系的主码。这里系别关系是被参照关系，学生关系为参照关系。学生关系中的每个元组的“系别号”属性只能取下面两类值：空值或系别关系中已经存在的值。

3. 用户定义的完整性规则

用户定义的完整性规则（user-defined integrity）是由用户根据实际情况对数据库中数据的内容进行的规定，也称为域完整性规则。

通过这些规则限制数据库只能接受符合完整性约束条件的数据值，不接受违反约束条件的数据，从而保证数据库中数据的有效性和可靠性。

例如，学生表中的“性别”数据只能是“男”或“女”，选课表中的“成绩”数据为“1到100”之间等。

数据完整性的作用就是要保证数据库中的数据是正确的。通过在数据模型中定义实体完整性规则，参照完整性规则和用户定义完整性规则，数据库管理系统将检查和维护数据库中数据的完整性。

8.3 数据库的运行与维护

8.3.1 数据库的运行

要使数据库系统投入并保持正常运行，需要许多人做许多工作。这里主要讨论作为计算机系统的一个组成部分的DBMS及其数据库与其他系统部件的接口关系、系统的工作原理。

1. 运行环境的构成

数据库的运行除了DBMS与数据库外，还需要各种系统部件协同工作。首先必须有各种相应的应用程序，其次各个应用程序与DBMS都需要在操作系统（OS）支持下工作。在有远程通信的情况下，则需要数据通信管理部件的支持。图8-3-1所示为一个数据库运行环境的典型部件。其中，DBCS（数据库控制系统）是与各用户程序APP_i接口的模块；DBSS（数据库存储系统）操作存储数据库并与OS或DBMS自己的标准存取方法（AM）接口；各应用程序和DBMS部件都在OS的管理程序（supervisor）的管理下工作。对于一个给定的DBMS，不一定就有名为“DBCS”或“DBSS”的系统，在这里它们是一般性术语，但绝大多数DBMS都有相当的功能部件。在网络或分布式环境下，还需要数据通信管理系统（DCMS）

的支持。

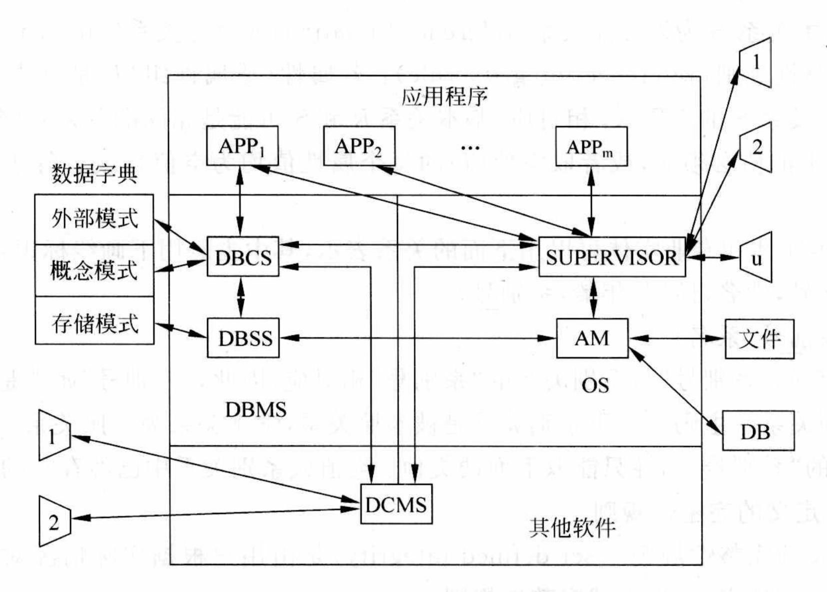


图 8-3-1 数据库系统运行环境

通常，系统初启时，应用程序与 DBMS 都不活动，一旦事务到达系统，OS 管理程序就调度用户事务所需要的应用程序运行。当应用程序要求存取数据库时，向 DBMS 发出请求。DBCS 接受应用程序请求，并考察外部模式与概念模式，以确定需要什么概念记录来满足请求，然后调用 DBSS 存取存数模式，转换概念记录成存储记录，并经 OS 传递请求给相应的 AM，再由 AM 实现物理数据库的存取和数据 I/O。

2. 运行环境的类型

数据库运行环境的组成与用户环境的类型紧密相关。可以用两种不同的用户环境：一种是数据库为一个或少数单个用户的专用而建立；另一种是针对整个组织建立的集成数据库。在前一种环境下，常常只有一个用户存取数据库，且在给定时刻只有一个用户需求必须满足，因而一个程序活动就能完成（当然，这并不意味着系统只能服务于一种应用需求）。在后一种环境下，任何时刻都可能有多个用户同时对数据库施加各种类型的操作，因而有许多程序活动并发执行。这种情况还可以分为所有应用集中在一起而形成的集中式的系统和应用分散在不同的地理位置的分散式或分布式系统。它们对数据库运行可施加不同的影响，因而要求 OS、DBMS 及 DCMS 等的不同支持。

当前数据库应用主要是联机事务处理（OLTP）和联机分析处理（OLAP），故分别有作业型（operational）和决策型（executive）两种运行环境。作业型环境支持预先程序设计和重复执行的事务处理、频繁的数据存取、当前的日常数据、联机的数据库维护、宿主语言与简单方便的用户接口。决策型环境主要是面向计划、决策、分析的，它支持多关键字及较复杂的布尔查询，提供大量历史数据的综合、推导与提炼。不同环境的设计要求不一样，它们所要求的数据库管理软件支持也不尽相同。

3. 处理方式

数据库系统运行时可以以多种处理方式支持用户。最简单的一种是批处理，用户一次性地提交任务的输入数据和程序以及说明的控制信息，应用程序执行时依次与 DBMS 打交

道，并对数据库进行存取，直至整个任务完成后输出其结果。

较普遍使用的是联机交互式处理。在这种方式下，用户随时联机地输入请求，在请求的处理期间，用户一直保持与数据库系统联系，不断进行“会话”以交换信息。联机处理又可进一步分为单任务处理和多任务处理。如上所述，单任务处理在同一时刻只有一个程序存取数据库，这种方式一般只适用于个人数据库系统。单任务处理方式不能适应多个用户并行存取数据库的要求，虽然它也可以服务于多个用户，但用户的请求只能一个一个地执行，平均用户等待时间长。多任务处理允许同时有多个应用程序是活跃的，但这并不意味着一定支持多个应用并发存取数据库。现代 DBMS 一般都属于这种处理方式。

多道联机处理数据库系统结构如图 8-3-2 所示。在这种系统中，各事务往往由一个“事务处理监控器”(transaction processing monitor，TPM)管理，它本身在操作系统控制下运行。当用户消息到达系统时，它根据消息标识符查找每一个用户消息与所使用的程序的对照表，从而在程序库(PB)中找出相应的应用程序，并为其建立一个事务来处理该消息。

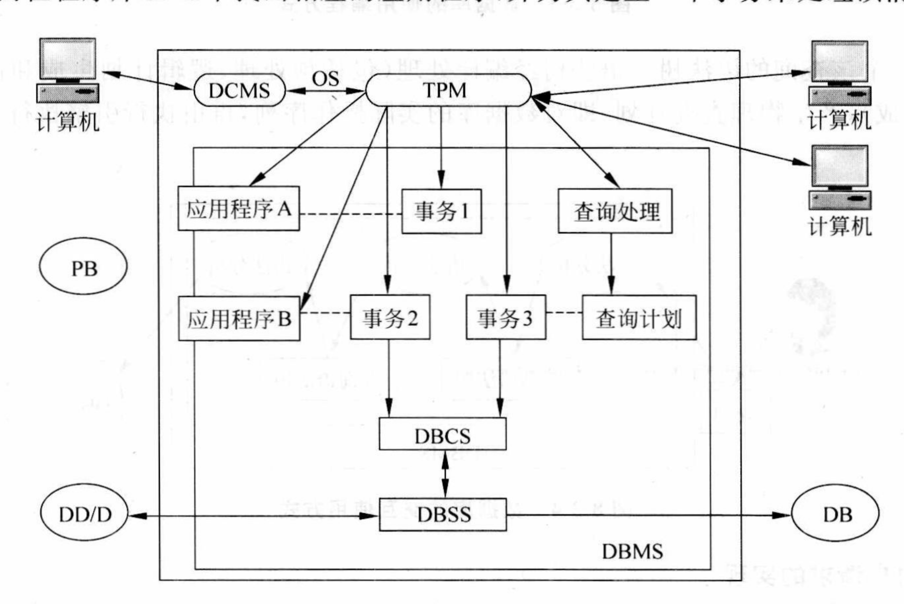


图 8-3-2　数据库的多道联机方式

4. 数据库使用方式

现代数据库一般都是以多道联机处理方式来服务用户的。用户可以以两种方式来使用数据库，一种是编程方式，另一种是交互方式，下面分别介绍这两种方式的实现过程。

(1) 编程使用方式

对于支持编程使用方式的数据库系统，用户可以用高级程序设计语言，如 C、FORTRAN、Cobal、Pascal 等来编写程序，在这种程序中嵌入数据库操作语言如 SQL 的语句(故又称嵌入式使用)，从而使应用程序可直接存取数据库。这种方式的实现如图 8-3-3 所示，其中 DBRM(database request module)为相应 SQL 语句的语法结构块，“应用计划”就是实现 DBRM 中 SQL 语句的数据库存取操作序列。

(2) 交互使用方式

与编程式使用相对应的是交互使用方式。典型的交互使用方式，用户即时打入查询(即数据库操作命令)，如图 8-3-4 所示，查询经由 DBMS 的重要部件“查询处理器”进行语法分

图 8-3-3　数据库的使用编程方式

析，产生一个该查询的语法树。语法树经编译处理（包括预处理、逻辑计划生成和优化及物理计划生成），产生物理查询计划，即对数据库的实际操作序列，再由执行引擎执行查询计划的每一步。

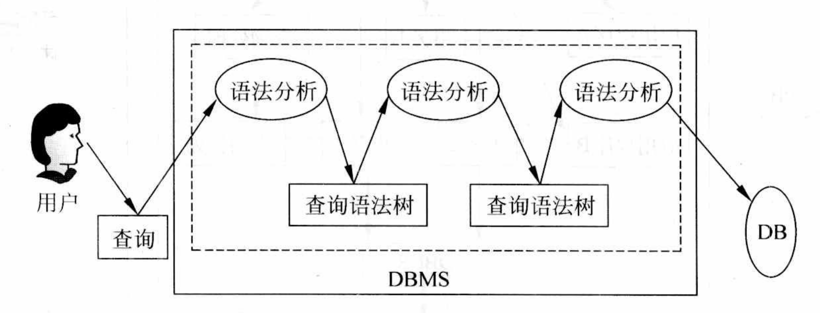


图 8-3-4　数据库的交互使用方式

5. 用户请求的实现

用户请求实现模型是一个层次结构，它包含了三层软件、四层接口和物理数据库。图 8-3-5 所示为一个通用的实现模型。

三层软件是：第一次是应用软件层，它直接支持最终用户，使他们能够对数据的请求来存取数据库。它将用户的数据请求转换成逻辑存取命令而嵌入在主语言程序或专门的查询中。第二层主要是数据库管理软件，还可能作为集成数据管理软件的部件而包括一些应用支撑软件，它们将逻辑存取命令转换成存储数据的存取命令。第三层是存取方法，它一般是操作系统的一部分，也包括 DBMS 的一些专门扩充和接口，它将存储记录命令转换成物理记录（块）操作，并执行物理记录接口上的数据传输。

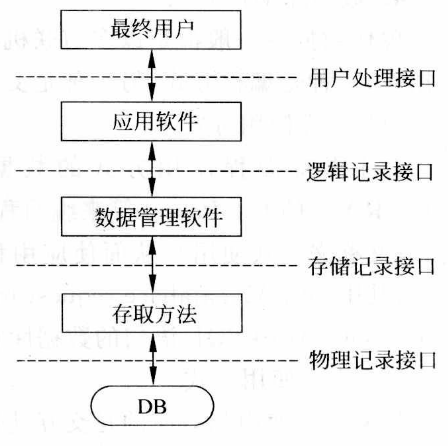


图 8-3-5　实现模型层次结构

四层接口是：用户处理接口、逻辑记录接口、存储记录接口和物理记录接口。用户处理接口支持最终用户，使之能以不同的处理方式来处理数据，如此处理、联机处理和报告生成等。用户处理接口可使用户只关心他们感兴趣的数据。逻辑记录接口用来在数据库管理软件与用户之间传递逻辑记录，使用户软件能将数据库视作逻辑文件的集合。存储记录接口有事又叫存储文件组织，它使 DBMS 软件能将数据库存储结构看成是存储文件的集合，而一个存储文件就是具有相同构造的同一类型存储记录的集合。物理记录接口控制物理设备特性，实现内外存之间的物理块传递，它支持存取方法将存储记录组合成物理记录（或物理块）并实现其在外存设备上的安置或反之。

8.3.2 数据库的维护

数据库试运行合格后，数据库开发工作就基本完成，即可投入正式运行了。但是，由于应用环境在不断变化，数据库运行过程中物理存储也会不断变化，对数据库设计进行评价、调整、修改等维护工作是一个长期的任务，也是设计工作的继续和提高。

在数据库运行阶段，对数据库经常性的维护工作主要是由 DBA 完成的，它包括以下几方面。

1. 数据库的转储和恢复

数据库的转储和恢复是系统正式运行后最重要的维护工作之一。DBA 要针对不同的应用要求制定不同的转储计划，以保证一旦发生故障能尽快将数据库恢复到某种一致的状态，并尽可能减少对数据库的破坏。

2. 数据库的安全性、完整性控制

在数据库运行过程中，由于应用环境的变化，对安全性的要求也会发生变化，比如有的数据原来是机密的，现在可以公开查询的了，而新加入的数据又可能是机密的。系统中用户的密级也会改变。这些都需要 DBA 根据实际情况修改原有的安全性控制。同样，数据库的完整性约束条件也会变化，也需要 DBA 不断修正，以满足用户要求。

3. 数据库性能的监督、分析和改造

在数据库运行过程中，监督系统运行，对监测数据进行分析，找出改进系统性能的方法是 DBA 的又一重要任务。目前有些 DBMS 产品提供了监测系统性能参数的工具，DBA 可以利用这些工具方便地得到系统运行过程中一系列性能参数的值。DBA 应仔细分析这些数据，判断当前系统运行状况是否是最佳，应当做哪些改进。例如调整系统物理参数，或对数据库进行重组织或重构造等。

4. 数据库的重组织与重构造

数据库运行一段时间后，由于记录不断增、删、改，会使数据库的物理存储情况变坏，降低了数据的存取效率，数据库性能下降，这时 DBA 就要对数据库进行重组织，或部分重组织（只对频繁增、删的表进行重组织）。DBMS 一般都提供数据重组织用的实用程序，在重组织的过程中，按原设计要求重新安排存储位置、回收垃圾、减少指针链等，提高系统性能。

数据库的重组织，并不修改原设计的逻辑和物理结构，而数据库的重构造则不同，它是指部分修改数据库的模式和内模式。

由于数据库应用环境发生变化，增加了新的应用或新的实体，取消了某些应用，有的实体与实体间的联系也发生了变化等，使原有的数据库设计不能满足新的需求，需要调整数据

库的模式和内模式。例如，在表中增加或删除某些数据项，改变数据项的类型，增加或删除某个表，改变数据库的容量，增加或删除某些索引等。当然数据库的重构也是有限的，只能做部分修改。如果应用变化太大，重构也无济于事，说明此数据库应用系统的生命周期已经结束，应该设计新的数据库应用系统了。

8.4　物联网中的数据库的应用

物联网简单来说是技术升级后的互联网，只是以前是人-人通信，现在要求物-人通信，物-物通信，并且这些通信的规模一定要大，范围一定要广。有人简单地把物联网叫做物物相联，这是片面的，为什么要物物相联？联起来了做什么？因为科技在进步，我们越来越想知道身边每一个角落此时此刻正在发生什么，我们还想知道过去某段时间发生过什么，我们希望处理业务更快捷，生活更安全更便利，所以我们要物物相联，这就是信息化、智能化，而这个基础就是信息数据。

对于一些智能系统来说，从传感器采集来的数据必须要能够长期存储，并且可以回溯、可以高效调用，这样才能从数据中积累知识，从知识中提炼经验，继而把经验转化为模型，用模型检验新的数据，并进行自我更新，形成新的知识，这就形成了一个闭环，或者可以称为知识的可持续发展。

物联网作为一种海量信息双向传递、虚拟网络与现实世界主动交互的新型系统，图 8-4-1为物联网数据架构示意图，在原始数据感知收集、基于信息内容和传输模式的关联分析、实际物理系统 QoS 指标驱动等信息流传递过程中，具有其独立于以往系统的高实时、低冗余、多用户、复杂信息流耦合交互等特性，现有的理论机制很难提供全面可靠的服务与技术保障，这对物联网的研究提出了全新的挑战。对于物联网来说，仓储管理、标签管理、身份管理之类，数据量小，实时性要求低的，关系型数据库肯定适合，但是智能电网、水域监测、智能交通、智能医疗一定是实时数据库更好。

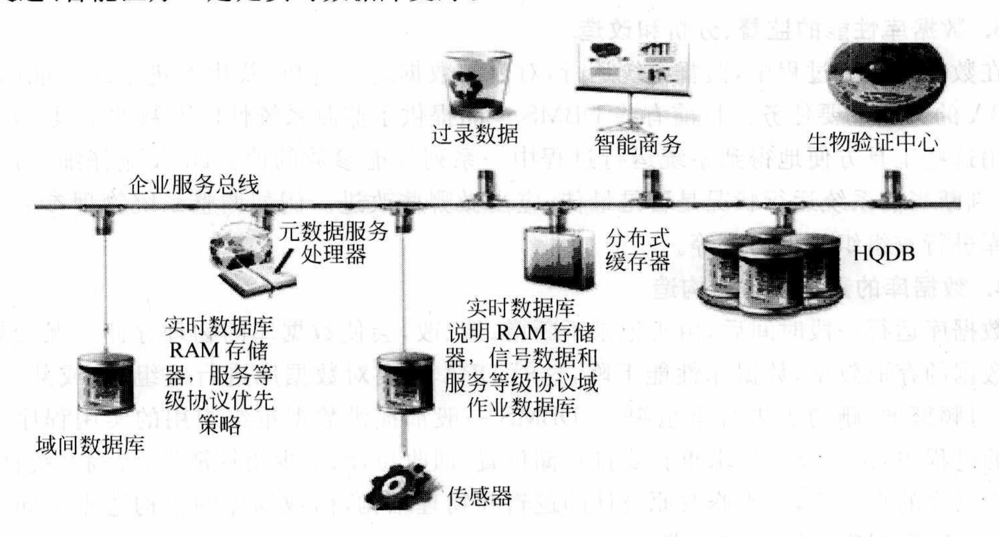


图 8-4-1　物联网数据架构示意图

当前数据库理论与技术的发展极其迅速，其应用日益广泛，层次、网状、关系型数据库在

传统的管理事务型应用领域获得了极大成功，随着数据库的应用向新的领域扩展，如CAD/CAM、CIMS、数据通信、电力调度、交通控制、物流跟踪、作战指挥、实时仿真等，这些应用既需要数据库来支持大量数据的共享，维护其数据的一致性，又需要实时处理来支持其任务(事务)与数据的定时限制。

实时数据库(real time database，RTDB)是指数据和事务都有显式定时限制的数据库，其重要特性是实时性，包括数据实时性和事务实时性，是开发实时控制系统、数据采集系统、CIMS系统和物联网等的支撑软件，已经成为企业信息化的基础数据平台。

实时数据库系统最早出现在1988年，国外对RTDB的研究非常重视，已有许多商品化的实时数据库产品；国内虽然早在20世纪90年代初就开展对RTDB技术的研究，并出现了中科院软件所、南京南瑞、浙大中控等一批致力于实时数据库产品开发和推广的企业，但产品距离商品化还有一定的距离。

分布式实时数据库系统是分布式数据库系统和实时数据库系统相结合的产物，是事务和数据都可以具有定时特性或显示定时限制的分布式数据库系统。分布式实时数据库系统并不是简单地把实时数据库分散的实现，而是具有自己的性质和特性的系统。物联网可以实现人与物体的沟通和对话，也可以实现物体与物体互相间的连接和交互。本节就介绍如何将物联网技术应用到分布式实时数据库管理系统中，使得分布式数据库的管理更便捷、高效、实时性更强。

8.4.1 分布式实时数据库的体系结构

分布式实时数据库系统由 N 个站点通过固定网络连接而成，其中每一个站点都有一个数据库服务器，所有的数据库服务器构成一个分布式数据库系统，可以支持全局事务处理。每个数据库服务器均有场地自治性，都支持局部实时事务处理。分布式实时数据库系统结构如图8-4-2所示，其中，每个数据库服务器包含一个全局实时数据库管理系统(GRTDBMS)、一个本地实时数据库管理系统(LRTDBMS)、一个通信管理器(CM)、一个数据字典(DD)、一个本地内存数据库(LMDB)和一个本地外存数据库(LSDB)。

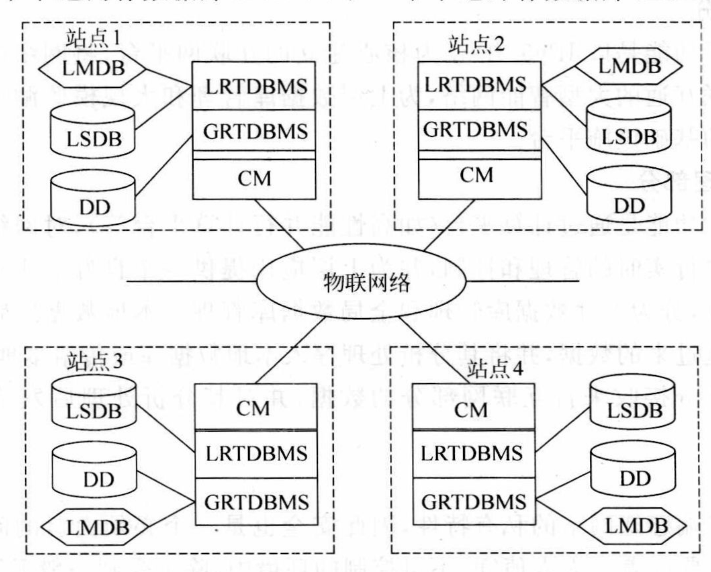


图8-4-2 分布式实时数据库系统体系结构图

8.4.2 分布式实时数据库管理系统的构成

基于物联网技术的分布式实时数据库管理系统主要有四部分组成，分别是现场数据采集、数据接入、互联网和数据库管理。下面就这四部分展开详细的研究。

1. 现场数据采集部分

该部分的主要功能是通过传感器节点等感知设备获取现场的信息，如电压、电流、功率等。在数据的产生现场安装具有无线射频识别(RFID) 技术的数据采集装置，该装置可以实现快速、实时、准确的信息采集与处理，通过射频信号对实体对象进行唯一有效的标识，并可获取相关数据。该装置具有智能信号处理的功能，可以对采集获得的各种原始数据进行必要的处理，以获得与目标事物相关的信息。首先获得各种物理量的测量值，即原始信号。之后通过信号提取技术筛选有用信号，借助于信号分析技术，如特征对比、分类技术，可以将各种特征信号对应到某一类的物理事件。这里的“信号处理”含义包括信号抗干扰、信号分离以及信号滤波等技术。这些技术有两种实现方式：节点上实现和基站上实现。前者是值得推荐的，其优点是具有实时性，减少了不必要的数据流量和传输过程中能量的消耗。但是由于节点资源有限，在节点上实现将面临要求低算法复杂度的挑战，而在资源丰富的基站(如服务器) 上实现则能进行较复杂的信号处理，还可以进行分类学习或模式识别，信号处理效果会更好。

2. 数据接入部分

该部分的主要功能是将来自感知层的信息传送到本地实时数据库管理系统中或通过现有的公用通信网(如有线互联网网络、WLAN 网络、GSM 网、TD-SCDMA 网)传送到互联网中。

当该部分收到来自现场数据采集部分发送过来的数据时，会根据数据的属性或请求者的不同来决定是将数据传到本地实时数据库管理系统还是传到互联网上。因此数据接入部分的设备具有一定的处理功能，这一功能可以用嵌入式芯片来实现。

3. 互联网部分

该部分的主要功能是以 IPv6/IPv4 为核心建立的互联网平台，将网络内的信息资源整合成一个可以互联互通的大型智能网络，为上层数据库管理和大规模监测应用建立起一个高效、可靠、可信的基础设施平台。

4. 数据库管理部分

该部分的主要功能是通过计算平台(如高性能并行计算平台等)，对网络内的现场监测获取的海量信息进行实时的管理和控制，并为上层应用提供一个良好的用户接口。数据库管理由两部分构成，分为本地数据库管理和全局数据库管理。本地数据库管理部分接收从数据接入部分传送过来的数据，并将其分析处理存入本地数据库或传给本地其他用户程序。全局数据库管理部分接收来自互联网部分的数据，并对其分析处理后发给请求该数据的用户。

5. 安全性

由于物联网终端感知网络的私有特性，因此安全也是一个必须面对的问题。物联网中的传感节点通常需要部署在无人值守、不可控制的环境中，除了受到一般无线网络所面临的信息泄露、信息篡改、重放攻击、拒绝服务等多种威胁外，还面临传感节点容易被攻击者获

取，通过物理手段获取存储在节点中的所有信息，从而侵入网络、控制网络的威胁。涉及安全的主要有程序内容、运行使用、信息传输等方面。从安全技术角度来看，相关技术包括以确保使用者身份安全为核心的认证技术，确保安全传输的密钥建立及分发机制，以及确保数据自身安全的数据加密、数据安全协议等数据安全技术。因此在物联网安全领域，数据安全协议、密钥建立及分发机制、数据加密算法设计以及认证技术是关键部分。

8.4.3 结束语

由于物联网技术是由各种技术融合而成的新型技术体系，因此基于物联网技术的分布式实时数据库系统具有潜在、显著的技术价值和应用需求。但由于物联网技术中涉及各种各样的技术，有些还不成熟，所以该系统的开发具有一定的风险性。

8.5 本章小结

本章详细介绍了数据库发起源、发展、特点以及现有的数据库系统和它们的运行与维护，在此基础上进一步介绍了物联网中的数据库应用，重点介绍了物联网中的分布式实时数据库管理系统，该系统主要由四部分组成，分别是现场数据采集、数据接入、互联网和数据库管理。由于物联网技术还不很成熟，所以该数据库系统的开发仍具有一定的风险性。

习题

1. 数据库系统的基本概念是什么？
2. 数据库技术的特点是什么？
3. 数据库管理系统由哪些部分组成？
4. 数据库技术的数据管理方式的特点有哪些？
5. 从数据库管理系统的角度来看，数据库系统的体系结构可以可分为哪三层？三个抽象级别的联系和转换又是如何进行的？
6. 关系数据库中的关系具有什么性质？什么是关系的完整性？
7. 什么是关系模式？
8. 简述数据库的交互使用方式。
9. 分布式实时数据库的体系结构是什么？

第9章 物联网的信息安全

随着物联网的发展，在不远的将来，不仅你是谁，甚至连你今天去过哪儿、遇见过什么人，这些你自己未必记得清楚的细节，都有可能被物联网中的感知设备记录下来。从信息安全和隐私保护角度上说，物联网终端(RFID、传感器、智能信息设备)的广泛引入在提供更丰富信息的同时，也增加了暴露这些信息的危险。所以有必要安全地管理这些信息，确保隐私信息不被别有用心的攻击者利用，损坏用户的利益。

9.1 信息安全概述

在计算机通信领域，信息安全是指信息网络的硬件、软件及其系统中的数据受到保护，不受偶然的或者恶意的原因而遭到破坏、更改、泄露，系统连续可靠正常地运行，信息服务不中断。信息安全主要包括以下五方面的内容，即需保证信息的保密性、真实性、完整性、未授权复制和所寄生系统的安全性。其根本目的就是使内部信息不受外部威胁，因此信息通常需加密。为保障信息安全，要求有信息源认证、访问控制，不能有非法软件驻留，不能有非法操作。

信息安全是一门涉及计算机科学、网络技术、通信技术、密码技术、信息安全技术、应用数学、数论、信息论等多种学科的综合性学科。

9.1.1 网络的信息安全

网络信息安全的一般性指标包括可靠性、可用性、保密性、完整性、不可抵赖性和可控性。

可靠性是指系统能够在规定条件下和规定时间内完成规定功能的特性。可靠性主要有三种推测标准：抗毁性、生存性和有效性。其中，抗毁性要求系统在被破坏的情况下还能提供一定程度的服务；生存性要求系统在随机破坏或者网络结构发生变化时仍然保持一定可靠性；有效性只要反映在系统部件失效的情况下，满足业务性能要求的程度。可靠性主要表现在硬件、软件、人员、环境等方面。

可用性是指系统服务可以被授权实体访问并按要求使用的特性。可用性是系统面对用户的安全性。可用性要求系统服务在需要时，仍能够允许授权实体使用；或者在系统部分受损或者需要降级使用时，仍能够提供有效的服务。可用性一般用系统正常服务时间或者整体工作时间之比来衡量的。

保密性是指信息智能被授权用户使用、不被泄露的特性。常用的保密技术包括：防侦收（使攻击者侦收不到有用的信息）、防辐射（防止有用信息辐射出去）、信息加密（用加密算法加密信息，即使对手得到加密后的信息也无法读懂）、物理保密（利用限制、隔离、掩蔽、控制等各种物理措施，保护信息不被泄露）。

完整性是指未经授权不能改变信息的特性，即信息在存储或者传输的过程中不被偶然或者蓄意地删除、篡改、伪造、乱序、重放等破坏或者丢失的特性。完整性要求保持信息原样，即信息的正确生成、存储和传输。完整性与保密性不同，保密性要求信息不被泄露给未授权的人，而完整性要求信息不受各种原因的破坏。影响信息完整性的因素主要有设备故障、误码（由传输、处理、储存、精度、干扰等造成）、攻击等。

不可抵赖性是指信息交互过程中所有参与者都不可能否认或者抵赖曾经完成的操作和承诺的特性。利用信息源证据可以防止发送方否认已发送信息，利用接收数据可以防止接收方否认已经接收的信息。

可控性是对信息传播及内容控制的特性，在物联网中表现为对标签内容的访问必须具有可控性。

除这些安全指标以外，物联网中通常还需要考虑隐私的保护。

9.1.2 信息安全的重要性

信息作为一种资源，它的普遍性、共享性、增值性、可处理性和多效用性，使其对于人类具有特别重要的意义。信息安全的实质就是要保护信息系统或信息网络中的信息资源免受各种类型的威胁、干扰和破坏，即保证信息的安全性。根据国际标准化组织的定义，信息安全性的含义主要是指信息的完整性、可用性、保密性和可靠性。信息安全是任何国家、政府、部门、行业都必须十分重视的问题，是一个不容忽视的国家安全战略。但是，对于不同的部门和行业来说，其对信息安全的要求和重点却是有区别的。

9.1.3 信息安全策略

信息安全策略是指为保证提供一定级别的安全保护所必须遵守的规则。实现信息安全，不但靠先进的技术，而且也得靠严格的安全管理，法律约束和安全教育，主要表现在以下几方面。

（1）图文档加密。能够智能识别计算机所运行的涉密数据，并自动强制对所有涉密数据进行加密操作，而不需要人的参与。体现了安全面前人人平等，从根源解决信息泄密。

（2）先进的信息安全技术是网络安全的根本保证。用户对自身面临的威胁进行风险评估，决定其所需要的安全服务种类，选择相应的安全机制，然后集成先进的安全技术，形成一个全方位的安全系统。

（3）严格的安全管理。各计算机网络使用机构、企业和单位应建立相应的网络安全管理办法，加强内部管理，建立合适的网络安全管理系统，加强用户管理和授权管理，建立安全审计和跟踪体系，提高整体网络安全意识。

（4）制定严格的法律、法规。计算机网络是一种新生事物，它的许多行为无法可依，无章可循，导致网络上计算机犯罪处于无序状态。面对日趋严重的网络上犯罪，必须建立与网络安全相关的法律、法规，使非法分子慑于法律，不敢轻举妄动。

(5) 安全操作系统。给系统中的关键服务器提供安全运行平台，构成安全 WWW 服务、安全 FTP 服务和安全 SMTP 服务等，并作为各类网络安全产品的坚实底座，确保这些安全产品的自身安全。

9.2 感知层的安全

物联网是新一代信息技术的重要组成部分，有三大特性，即全面感知、可靠传输、智能处理。从架构上来说，物联网由感知层、网络层、应用层三部分组成。最低层是感知层，由传感器和传感器网络组成；中间层是网络层，主要由移动通信网和互联网组成；最上层是应用层，是指智能运算与智能处理。感知层是实现物体标识和感知，网络层是实现数据的处理和传输，应用层是实现对网络层发送信息的存储、挖掘、处理和应用。

感知层是物联网的皮肤和五官，主要功能是识别物体，采集信息。物联网感知层的任务是实现智能感知外界信息功能，包括信息采集、捕获和物体识别，该层的典型设备包括 RFID 装置、各类传感器(如红外、超声、温度、湿度、速度等)、图像捕捉装置(摄像头)、全球定位系统(GPS)、激光扫描仪等，其涉及的关键技术包括传感器、RFID、自组织网络、短距离无线通信、低功耗路由等。感知层是物联网的核心，是采集信息的关键部分，感知层的信息安全问题是物联网发展普及首先面临的重大问题，其信息安全的研究迫在眉睫。

如何在感知、传输、应用过程中提供一套强大的安全体系作保障，是一个难题。

9.2.1 感知层面临的安全问题

由于感知层主要采用 RFID 技术，RFID 芯片的物品不仅能方便地被物品主人所感知，同时其他人也能进行感知。特别是当这种被感知的信息通过无线网络平台进行传输时，信息的安全性相当脆弱。

从物联网的体系结构而言，物联网除了面对传统 TCP/IP 网络、无线网络和移动通信网络等传统网络安全问题之外，还存在着大量自身的特殊安全问题，并且这些特殊性大多来自感知层。我们认为物联网的感知层面临的主要威胁有以下几个方面。

1. 安全隐私

如射频识别技术被用于物联网系统时，RFID 标签被嵌入任何物品中，比如人们的日常生活用品中，而用品的拥有者不一定能觉察，从而导致用品的拥有者不受控制地被扫描、定位和追踪，这不仅涉及技术问题，而且还将涉及法律问题。

2. 智能感知节点的自身安全问题

即物联网机器/感知节点的本地安全问题。由于物联网的应用可以取代人来完成一些复杂、危险和机械的工作，所以物联网机器/感知节点多数部署在无人监控的场景中。那么攻击者就可以轻易地接触到这些设备，从而对它们造成破坏，甚至通过本地操作更换机器的软硬件。

3. 假冒攻击

由于智能传感终端、RFID 电子标签相对于传统 TCP/IP 网络而言是“裸露”在攻击者的眼皮底下的，再加上传输平台是在一定范围内“暴露”在空中的，“窜扰”在传感网络领域显得非常频繁和容易。所以，传感器网络中的假冒攻击是一种主动攻击形式，它极大地威胁着

传感器节点间的协同工作。

4. 数据驱动攻击

数据驱动攻击是通过向某个程序或应用发送数据，以产生非预期结果的攻击，通常为攻击者提供访问目标系统的权限。数据驱动攻击分为缓冲区溢出攻击、格式化字符串攻击、输入验证攻击、同步漏洞攻击、信任漏洞攻击等。通常向传感网络中的汇聚节点实施缓冲区溢出攻击是非常容易的。

5. 恶意代码攻击

恶意程序在无线网络环境和传感网络环境中有无穷多的入口。一旦入侵成功，之后通过网络传播就变得非常容易。它的传播性、隐蔽性、破坏性等相比 TCP/IP 网络而言更加难以防范，如类似于蠕虫这样的恶意代码，本身又不需要寄生文件，在这样的环境中检测和清除这样的恶意代码难度很大。

6. 拒绝服务

此种攻击方式多数会发生在感知层与核心网络的衔接之处。由于物联网中节点数量庞大，且以集群方式存在，因此在数据传播时，大量节点的数据传输需求会导致网络拥塞，产生拒绝服务攻击。

7. 物联网业务的安全问题

由于物联网节点无人值守，并且有可能是动态的，所以如何对物联网设备进行远程签约信息和业务信息配置就成了难题。另外，现有通信网络的安全架构都是从人与人之间的通信需求出发的，不一定适合以机器与机器之间的通信为需求的物联网络。使用现有的网络安全机制会割裂物联网机器间的逻辑关系。

8. 信息安全问题

感知节点通常情况下功能单一、能量有限，使得它们无法拥有复杂的安全保护能力，而感知层的网络节点多种多样，所采集的数据、传输的信息和消息也没有特定的标准，所以无法提供统一的安全保护体系。

9. 网络层和应用层的安全隐患

在物联网的网络层和应用层将面临现有 TCP/IP 网络的所有安全问题，同时还因为物联网在感知层所采集的数据格式多样，来自各种各样感知节点的数据是海量的，并且是多源异构数据，带来的网络安全问题将更加复杂。

9.2.2 感知层信息安全保护机制

物联网的安全问题要走“分而治之”、分层解决的路子。传统 TCP/IP 网络针对网络中的不同层都有相应的安全措施和对应方法，这套比较完整的方法，不能原样照搬到物联网领域，而要根据物联网的体系结构和特殊性进行调整。物联网感知层、感知层与主干网络接口以下的部分的安全防御技术主要依赖于传统的信息安全的知识。主要的机制有以下几个方面。

1. 物联网中的加密机制

密码编码学是保障信息安全的基础。在传统 IP 网络中加密的应用通常有两种形式：点到点加密和端到端加密。从目前学术界所公认的物联网基础架构来看，不论是点到点加密还是端到端加密，实现起来都很困难，因为在感知层的节点上要运行一个加密/解密程序

不仅需要存储开销、高速的CPU,而且还要消耗节点的能量。因此,在物联网中实现加密机制原则上有可能,但是操作上难度较大。

2. 节点的认证机制

认证机制是指通信的数据接收方能够确认数据发送方的真实身份,以及数据在传送过程中是否遭到篡改。从物联网的体系结构来看,感知层的认证机制非常有必要。身份认证是确保节点的身份信息,加密机制通过对数据进行编码来保证数据的机密性,以防止数据在传输过程中被窃取。

PKI是利用公钥理论和技术建立的提供信息安全服务的基础设施,是解决信息的真实性、完整性、机密性和不可否认性这一系列问题的技术基础,是物联网环境下保障信息安全的重要方案。

3. 访问控制技术

访问控制在物联网环境下被赋予了新的内涵,从TCP/IP网络中主要给"人"进行访问授权、变成了给机器进行访问授权,有限制的分配、交互共享数据,在机器与机器之间将变得更加复杂。

4. 态势分析及其他

网络态势感知与评估技术是对当前和未来一段时间内的网络运行状态进行定量和定性的评价、实时监测和预警的一种新的网络安全监控技术。物联网的网络态势感知与评估的有关理论和技术还是一个正在开展的研究领域。

物联网感知层是物联网的核心,感知层存在许多与技术相关的安全问题,在实施和部署物联网感知层之前,应该根据实际情况进行安全评估和风险分析,根据实际需求确定安全等级来实施解决方案,使物联网在发展和应用过程中,其安全防护措施能够不断得以完善。

下面我们具体以感知层是RFID和传感网为例子来进行分析。

9.2.3 RFID射频识别技术及安全问题

RFID标签负责采集物理世界的信息,并将这些信息通过无线方式传输到物联网中。由于物联网中大量使用RFID标签,必须控制单个标签的成本,这导致了单个RFID标签的能力非常弱小,不支持复杂的密码学计算。目前被广泛使用的被动式RFID标签的价格大约10美分,通常包含5000~10000个逻辑门。这些逻辑门主要用于实现一些基本的标签功能,只有少许可以用于支持安全功能。按照目前已有的技术和芯片制造水平,在标签芯片中实现SHA-1等成熟Hash算法需要3000~4000个逻辑门,公钥加密算法因为所需要的逻辑门数量更大而很难应用在RFID标签上。

一个基本的RFID系统主要由3部分组成:RFID标签、手持式阅读器和数据库系统(包括一些服务器)。RFID标签分为被动、半被动和主动三类。由于被动式标签具有价格低廉,体积小巧,无须电源的优点,目前市场的RFID标签主要是被动式的。RFID技术主要用于绑定对象的识别和定位,通过对应的阅读设备对RFID标签进行阅读和识别。RFID作为无线应用领域的新宠儿,正被广泛用于采购与分配、商业贸易、生产制造、物流、防盗以及军事用途上,然而就在它被广泛使用时,与之相关的安全隐患也随之产生。越来越多的商家和用户担心RFID系统的安全和隐私保护问题,即在使用RFID系统过程中如何确保其安全性和隐私性,不至于导致个人信息、业务信息和财产等丢失或被他人盗用。

RFID系统的安全性有2个特性;首先RFID标签和阅读器之间的通信是非接触和无线的,很容易受到窃听;其次,标签本身的计算能力和可编程性,直接受到成本要求的限制。

通常采用RFID技术的网络涉及的主要安全问题有以下几方面。

(1) 标签本身的访问缺陷。任何用户(授权以及未授权的)都可以通过合法的阅读器读取RFID标签。而且标签的可重写性使得标签中数据的安全性、有效性和完整性都得不到保证。

(2) 通信链路的安全。

(3) 移动RFID的安全。主要存在假冒和非授权服务访问问题。

目前,实现RFID安全性机制所采用的方法主要有物理方法、密码机制以及二者结合的方法。

传统的网络中,网络层的安全和业务层的安全是相互独立的,而物联网的特殊安全问题很大一部分是由于物联网是在现有移动网络基础上集成了感知网络和应用平台带来的,移动网络中的大部分机制仍然可以适用于物联网并能够提供一定的安全性,如认证机制、加密机制等,但需要根据物联网的特征对安全机制进行调整和补充。这使得物联网除了面对移动通信网络的传统网络安全问题之外,还存在着一些与已有移动网络安全不同的特殊安全问题。

RFID所遇到的安全问题,要比通常的计算机网络安全问题要复杂得多。通过分析RFID系统的结构和安全威胁,必须制定相应的安全对策。

1. RFID系统中个人隐私问题解决方案

(1) 使用kill标签,具体做法是商品交付给最终用户时,通过kill指令杀死标签,使得标签无法再次被激活。彻底防止用户隐私被跟踪,但这会影响到反向跟踪,比如退货、维修和服务等,还会限制标签的再一次利用(然而标签的制作是需要一定的成本的,这就必然造成一定的浪费)。

(2) 使用sleep标签,在RFID系统中使用sleep命令。商品交付给最终用户时,通过sleep指令使标签休眠,标签可以再次被激活。这不影响到反向跟踪。当遇到退货、维修和服务时,可以将标签再一次激活,从而弥补了第一种方案的不足。可是在制作标签时,要用到比较复杂的编程技术,在一定程度上加大了标签的成本。

(3) 使用表面涂有铝箔的购物袋,将贴有RFID标签的商品放入这种特殊的购物袋中,从而阻止标签和阅读器的通信。这种方案看起来可行,然而为避免信息泄露,必须使用大量的购物袋,难以大规模实施,并且对环境造成一定的污染。

2. RFID系统中的安全问题解决方案

(1) 对于信号的干扰的针对性抗干扰措施有以下几点。

① 通过数据编码提高数据的抗干扰能力。

② 通过数据编码和数据的完整性校验提高抗干扰能力。

③ 通过多次重发比较,剔除出错的数据。

(2) 可以使用各种认证和加密手段来确保标签和阅读器之间的数据安全。比如Hash锁、带别名的双向认证和址认证(三方认证)等。这样就可以保证阅读器发送一个密码来解锁数据之前,标签的数据一直处于锁定状态。但是标签的成本直接影响到其计算能力、存储容量以及采用的加密算法强度。在物联网构建中选择射频识别系统时,应该根据实际需求

考虑是否选择有密码和认证功能的系统。一般来说，在高端 RFID 系统和高价值的被标识物品场合，可以采用这种方式。

(3) 构建专用的通信协议和通道。利用专用通信协议构建专用通信信道在抗干扰和避免受攻击方面有很好的效果。它在带来高的安全性能的同时增加了资金的投入量，并且丧失了与采用工业标准的系统之间的 RFID 数据共享能力。虽然可以用网关来进行数据的转换，然而这是要付出时间和空间的代价的。

(4) 中间件的攻击可以造成读写器与网络环境间的信息安全。解决的措施是采用加密认证方法，确保网络上的所有阅读器在传送信息给中间件（中间件再把信息传送给应用系统）之前都必须通过验证，并且确保阅读器和后端系统之间的数据流是加密的。另外安全的管理机制的制定和实施对于中间件的攻击将起到很好的作用。

3. 感知层中 RFID 系统安全级别的提出

由于基于 RFID 成本的限制，RFID 标签已经很难大规模地使用，在 RFID 标签中植入编程和加密机制就更困难了。为了促进 RFID 标签的大规模使用，可以制定相应的安全标准。如可以制作一个安全标准系统，对每件物品通过安全系统测试其所需的安全系数，当该物品的安全系数较低（一般为价格较低的小物品）时，不需用加密标签，用一般的低价被动式标签即可；当安全系数要求很高（价格高的大物品）采用强加密算法的主动式标签，从而确保信息安全。等级划分表如表 9-2-1 所示。

表 9-2-1　标签等级划分表

物品等级	标签
1. 价格昂贵的高档物品	主动式标签，强加密（公钥）算法
2. 价格昂贵的物品	主动式标签，普通加密（私钥）算法
3. 价格一般的物品	被动式标签，私钥加密算法
4. 价格便宜的低档物品	被动式标签，无加密算法

9.2.4 无线传感器网络技术及其安全问题

无线传感器网络作为物联网的基础单元，传感器在物联网信息采集层面能否如愿以偿完成它的使命，成为物联网感知任务成败的关键。传感器技术是物联网技术的支撑、应用的支撑和未来泛在网的支撑。传感器感知了物体的信息，RFID 赋予它电子编码。传感网到物联网的演变是信息技术发展的阶段表征。传感技术利用传感器和多跳自组织网，协作地感知、采集网络覆盖区域中感知对象的信息，并发布给向上层。由于传感网络本身具有无线链路比较脆弱、网络拓扑动态变化、节点计算能力、存储能力和能源有限、无线通信过程中易受到干扰等特点，使得传统的安全机制无法应用到传感网络中。传感技术面临的安全问题如表 9-2-2 所示。

表 9-2-2　传感网组网技术面临的安全问题

层次	受到的攻击
物理层	物理破坏、信道阻塞
链路层	制造物理攻击、反馈伪造攻击、耗尽供给链路层阻塞
网络层	路由攻击、虫洞攻击、女巫攻击、陷洞攻击、Hello 洪泛攻击
应用层	去同步、拒绝服务器等

目前传感器网络安全技术主要包括基本安全框架、密钥分配、安全路由和入侵检测和加密技术等。安全框架主要有SPIN(包含SNEP和uTESLA两个安全协议),Tiny Sec、参数化跳频、Lisp、LEAP协议等。传感器网络的密钥分配主要倾向于采用随机预分配模型的密钥分配方案。安全路由技术常采用的方法包括加入容侵策略。入侵检测技术常常作为信息安全的第二道防线,其主要包括被动监听检测和主动检测两大类。除了上述安全保护技术外,由于物联网节点资源受限,且是高密度冗余撒布,不可能在每个节点上运行一个全功能的入侵检测系统(IDS),因此如何在传感网中合理地分布IDS,尚有待于进一步研究。传感网技术已经在医疗、工业、农业、商业、公共管理、国防等领域得到了广泛应用,是促进未来经济发展,构建和谐社会的重要手段。传感器网络利用部署在目标区域内的大量节点协作地感知、采集各种环境或监测对象的信息,获得详尽而准确的信息,并对这些数据进行深层次的多元参数融合、协同处理,抽象环境或物体对象的状态。此外,还能够依托自组网或定向链路方式将这些感知数据和状态信息传输给观察者,将逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起,改变人类与物理世界的交互方式。无线传感器节点是物联网伸入自然界的触角,主要负责信息的采集并将其他如光信号、电信号、化学信号转变为电信号并送给微控制器根据应用环境不同的参数,对传感器的选择也有所区别;无线收发器负责与网关之间的通信;微控制器负责协调系统的工作,接收传感器发送的信息并控制无线收发器的工作。电源及电源管理模块为系统的工作提供可靠的能源。

9.3 网络层的安全

物联网的真正价值在于网,而不在于物,因为在于网,所以复杂。目前物联网感知层的技术相对比较成熟,在各行各业已有比较成功的应用,但是如果感知的信息没有一个庞大的网络体系对它们进行管理和整合,就谈不上深入的应用,这样的网络就没有意义。要构建一个这样如此复杂的系统的网络平台,实现业务的综合管理、信息的融合分析及分门别类、数据得有指导性的传输和交互等,它的复杂性和艰难性可想而知。

物联网的网络层主要用于把感知层收集到的信息安全、可靠地传输到信息应用层,然后根据不同的应用需求进行信息处理,即网络层主要是网络基础设施,包括互联网、移动网和一些专业网(如国家电力专用网、广播电视网)等。在信息传输过程中,可能经过一个或多个不同架构的网络进行信息交接。例如,普通电话座机与手机之间的通话就是一个典型的跨网络架构的信息传输实例。在信息传输过程中跨网络传输是很正常的,在物联网环境中这一现象更突出,而且很可能在正常而普通的事件中产生信息安全隐患。考虑到物联网本身具有专业性的特征,其基础网络可以是互联网,也可以是具体的某个行业网络。

9.3.1 网络层面临的安全问题

物联网的网络层按功能可以大致分为接入层和核心层,因此物联网的网络层安全问题主要体现在以下两个方面。

(1) 来自物联网本身的架构、接入方式和各种设备的安全问题

物联网的接入层将采用如移动互联网、有线网、WiFi、WiMAX等各种无线接入技术。接入层的异构性使得如何为终端提供移动性管理以保证异构网络间节点漫游和服务的无缝

移动成为研究的重点，其中安全问题的解决将受益于切换技术和位置管理技术的进一步研究。另外，由于物联网接入方式将主要依靠移动通信网络，移动网络中移动站与固定网络端之间的所有通信都是通过无线接口来传输的，然而无线接口是开放的，任何使用无线设备的个体均可以通过窃听无线信道而获得其中传输的信息，甚至可以修改、插入、删除或重传无线接口中传输的消息，以达到假冒移动用户身份以欺骗网络端的目的。因此移动通信网络存在无线窃听、身份假冒和数据篡改等不安全的因素。

(2) 进行数据传输的网络相关安全问题

物联网的网络核心层主要依赖于传统网络技术，其面临的最大问题是现有的网络地址空间短缺。主要的解决方法寄希望于正在推进的 IPv6 技术。IPv6 采纳 IPsec 协议，在 IP 层上对数据包进行了高强度的安全处理，提供数据源地址验证、无连接数据完整性、数据机密性、抗重播和有限业务流加密等安全服务。但任何技术都不是完美的，实际上 IPv4 网络环境中大部分安全风险在 IPv6 网络环境中仍将存在，而且某些安全风险随着 IPv6 新特性的引入将变得更加严重，具体体现在：首先，拒绝服务攻击(DDoS)等异常流量攻击仍然猖獗，甚至更为严重，主要包括 TCP-flood、UDP-flood 等现有 DDoS 攻击，以及 IPv6 协议本身机制的缺陷所引起的攻击；其次，针对域名服务器(DNS)的攻击仍将继续存在，而且在 IPv6 网络中提供域名服务的 DNS 更容易成为黑客攻击的目标；再次，IPv6 协议作为网络层的协议，仅对网络层安全有影响，其他各层(包括物理层、数据链路层、网络层、应用层等)的安全风险在 IPv6 网络中仍将保持不变；此外采用 IPv6 替换 IPv4 协议需要一段时间，向 IPv6 过渡只能采用逐步演进的办法，为解决两者间互通所采取的各种措施将带来新的安全风险。

9.3.2 网络层对安全的需求

在物联网发展过程中，目前的互联网或者下一代互联网将是物联网网络层的核心载体，多数信息要经过互联网传输。互联网遇到的 DoS 和分布式拒绝服务攻击(DDoS)仍然存在，因此需要有更好的防范措施和灾难恢复机制。考虑到物联网所连接的终端设备性能和对网络需求的巨大差异，对网络攻击的防护能力也会有很大差别，因此很难设计通用的安全方案，而应针对不同网络性能和网络需求有不同的防范措施。

在网络层，异构网络的信息交换将成为安全性的脆弱点，特别在网络认证方面，难免存在中间人攻击和其他类型的攻击(如异步攻击、合谋攻击等)。这些攻击都需要有更高的安全防护措施。如果仅考虑互联网和移动网以及其他一些专用网络，则物联网网络层对安全的需求可以概括为以下几点。

(1) 数据机密性：需要保证数据在传输过程中不泄露其内容。

(2) 数据完整性：需要保证数据在传输过程中不被非法篡改，或非法篡改的数据容易被检测出。

(3) 数据流机密性：某些应用场景需要对数据流量信息进行保密，目前只能提供有限的数据流机密性。

(4) DDoS 攻击的检测与预防：DDoS 攻击是网络中最常见的攻击现象，此现象在物联网中将会更加突出。物联网中需要解决的问题还包括如何对脆弱节点的 DDoS 攻击进行防护。

(5) 移动网中认证与密钥协商(AKA)机制的一致性或兼容性、跨域认证和跨网络认证

(基于 IMSI);不同的无线网络使用不同的 AKA 机制,这会给跨网认证带来不利。这一问题亟待解决。

9.3.3 网络层的安全架构

网络层的安全机制可分为端到端机密性和节点到节点机密性。对于端到端机密性,需要建立特定的安全机制,如端到端认证机制、端到端密钥协商机制、密钥管理机制和机密性算法选取机制等。在这些安全机制中,根据需要可以增加数据完整性服务。对于节点到节点机密性,需要节点间的认证和密钥协商协议,这类协议要重点考虑效率因素。机密性算法的选取和数据完整性服务则可以根据需求选取或省略。考虑到跨网络架构的安全需求,需要建立不同网络环境的认证衔接机制。另外,根据应用层的不同需求,网络传输模式可能区分为单播通信、组播通信和广播通信,针对不同类型的通信模式也应该有相应的认证机制和机密性保护机制。简言之,网络层的安全架构主要包括以下几个方面。

(1) 节点认证、数据机密性、完整性、数据流机密性、DDoS 攻击的检测与预防。

(2) 移动网中 AKA 机制的一致性或兼容性、跨域认证和跨网络认证(基于 IMSI)。

(3) 相应密码技术,密钥管理(密钥基础设施 PKI 和密钥协商)、端对端加密和节点对节点加密、密码算法和协议等。

(4) 组播和广播通信的认证性、机密性和完整性安全机制。

三层结构中,网络层因基于因特网或现有通信网络,互联网中存在的危害信息安全的因素同样也会造成对物联网的危害。对物联网的恶意入侵,会侵犯用户隐私、造成用户实际损失。目前方兴未艾的云计算可以收集全球黑客攻击节点地址、主控机等信息,在互联网中共享这些信息,全球的 ASA、防火墙等都能实时地同步这些库,可以防止一些网络攻击、感染木马病毒等,实施 IPS 联防。但是,原有网络通信技术不完全适应物联网,传统网络路由是相当简单的,并且它不把安全放在主要目标。物联网由于节点布置的随机性、自组性、能量的限制和通信的不可靠性,导致物联网无基础架构,拓扑结构动态变化。入侵者可以通过虚拟节点、插入虚假路由信息等对物联网发起攻击。

目前常用的路由协议有 Flooding、LEACH、PEGASIS、SPIN 等。Flooding 协议简单易用,采用泛洪技术,导致大量信息重复,消耗大量能量;LEACH 协议簇的变化会带来额外资源开销,单跳路由网络规模小;PEGASIS 协议对 LEACH 做了改进,但链头会成为瓶颈;SPIN 协议采用了资源协商适应资源的变化,但可靠性差,甚至有些数据不能转发。由此可以看出,这些协议很少或没有考虑安全问题。因此增加或改进路由安全机制,成为当务之急。安全的路由要适应物联网的动态性、资源有限性,主要从两个途径考虑路由的安全:一是采用点对点加密、路由信息认证、入侵检测等途径来对抗假冒路由;二是利用冗余性提供多条路由路径,提高系统的检错和容错能力。

9.4 应用层的安全

应用层是信息到达智能处理平台的处理过程,包括如何从网络中接收信息。在从网络中接收信息的过程中,需要判断哪些信息是真正有用的信息,哪些是垃圾信息甚至是恶意信息。在来自于网络的信息中,有些属于一般性数据,用于某些应用过程的输入,而有些可能

是操作指令。在这些操作指令中，又有一些可能是多种原因造成的错误指令(如指令发出者的操作失误、网络传输错误、得到恶意修改等)，或者是攻击者的恶意指令。如何通过密码技术等手段甄别出真正有用的信息，又如何识别并有效防范恶意信息和指令带来的威胁是物联网应用层的重大安全挑战。

9.4.1 应用层面临的安全问题

物联网应用层是信息技术与行业专业技术的紧密结合的产物。物联网应用层充分体现了物联网智能处理的特点，其涉及业务管理、中间件、数据挖掘等技术。考虑到物联网涉及多领域、多行业，因此广域范围的海量数据信息处理和业务控制策略将在安全性和可靠性方面面临巨大挑战，特别是业务控制、管理和认证机制、中间件、隐私保护、海量数据加密等安全问题显得尤为突出。

1. 业务控制和管理

由于物联网设备可能是先部署后连接网络，而物联网节点又无人值守，所以如何对物联网设备远程签约，如何对业务信息进行配置就成了一大难题。另外，庞大且多样化的物联网必然需要一个强大而统一的安全管理平台，否则单独的平台会被各式各样的物联网应用所湮没，但这样将使如何对物联网机器的日志等安全信息进行管理成为新的问题，并且可能割裂网络与业务平台之间的信任关系，导致新一轮安全问题的产生。传统的认证是区分不同层次的，网络层的认证负责网络层的身份鉴别，业务层的认证负责业务层的身份鉴别，两者独立存在。但是大多数情况下，物联网机器都是拥有专门的用途，因此其业务应用与网络通信紧紧地绑在一起，很难独立存在。

2. 中间件

如果把物联网系统和人体做比较：如果感知层好比人体的四肢，网络层好比人的身体和内脏，那么应用层就好比人的大脑，软件和中间件则是物联网系统的灵魂和中枢神经。目前，使用最多的几种中间件系统是CORBA、DCOM、J2EE/EJB以及被视为下一代分布式系统核心技术的Web Services。

在物联网中，中间件处于物联网的集成服务器端和感知层、网络层的嵌入式设备中。服务器端中间件称为物联网业务基础中间件，一般都是基于传统的中间件(应用服务器、ESB/MQ等)，加入设备连接和图形化组态展示模块构建；嵌入式中间件是一些支持不同通信协议的模块和运行环境。中间件的特点是其固化了很多通用功能，但在具体应用中多半需要二次开发来实现个性化的行业业务需求，因此所有物联网中间件都要提供快速开发(RAD)工具。

3. 隐私保护

在物联网发展过程中，大量的数据涉及个体隐私问题(如个人出行路线、消费习惯、个体位置信息、健康状况、企业产品信息等)，因此隐私保护是必须考虑的一个问题。如何设计不同场景、不同等级的隐私保护技术将是为物联网安全技术研究的热点问题。当前隐私保护方法主要有两个发展方向：一是对等计算(P2P)，通过直接交换共享计算机资源和服务；二是语义Web，通过规范定义和组织信息内容，使之具有语义信息，能被计算机理解，从而实现与人的相互沟通。需要隐私保护的应用至少包括以下几种。

(1) 移动用户既需要知道(或被合法知道)其位置信息，又不愿意非法用户获取该信息。

(2) 用户既需要证明自己合法使用某种业务,又不想让他人知道自己在使用某种业务,如在线游戏。

(3) 对患者进行急救时需要及时获得该患者的电子病历信息,但又要保护该病历信息不被非法获取,包括病历数据管理员。事实上,电子病历数据库的管理人员可能有机会获得电子病历的内容,但隐私保护采用某种管理和技术手段使病历内容与病人身份信息在电子病历数据库中无关联。

(4) 许多业务需要匿名性,如网络投票。很多情况下,用户信息是认证过程的必需信息,如何对这些信息提供隐私保护,是一个具有挑战性的问题,但又是必须要解决的问题。例如,医疗病历的管理系统需要患者的相关信息来获取正确的病历数据,但又要避免该病历数据跟患者的身份信息相关联。在应用过程中,主治医生知道病人的病历数据,这种情况下对隐私信息的保护具有一定难度,但可以通过密码技术手段掌握医生泄露患者病历信息的证据。

4. 海量加密数据

物联网时代需要处理的信息是海量的,需要处理的平台也是分布式的。当不同性质的数据通过一个处理平台处理时,该平台需要多个功能各异的处理平台协同处理。但首先应该知道将哪些数据分配到哪个处理平台,因此数据类别分类是必需的。同时,安全的要求使得许多信息都是以加密形式存在的,因此如何快速有效地处理海量加密数据将会是在智能处理阶段遇到的一个重大挑战。

除上述安全问题外,智能处理过程中同样会遇到各个安全问题。计算技术的智能处理过程较人类的智力活动过程来说还是有着本质的区别,但计算机的智能判断在速度上是人类智力判断所无法比拟的,因此,期望物联网环境的智能处理在智能水平上不断提高,而且保留其判断速度。也就是说,只要智能处理过程存在,就可能让攻击者有机会躲过智能处理过程的识别和过滤,从而达到攻击目的。在这种情况下,为低智能。因此,物联网的传输层需要高智能的处理机制。如果智能水平很高,那么可以有效识别并自动处理恶意数据和指令。但再好的智能也存在失误的情况,特别在物联网环境中,即使失误概率非常小,因为自动处理过程的数据量非常庞大,因此失误的情况还是很多。在处理发生失误而使攻击者攻击成功后,如何将攻击所造成的损失降低到最小程度,并尽快从灾难中恢复到正常工作状态,是物联网智能应用层的另一重要问题,也是一个重大挑战,因为在技术上没有最好,只有更好。

9.4.2 应用层安全机制

智能应用层虽然使用智能的自动处理手段,但还是允许人为干预,而且是必需的。人为干预可能发生在智能处理过程无法做出正确判断的时候,也可能发生在智能处理过程有关键中间结果或最终结果的时候,还可能发生在其他任何原因导致的需要人为干预的时候。人为干预的目的是为了使应用层更好地工作,但也有例外,那就是实施人为干预的人试图实施恶意行为。来自于人的恶意行为具有很大的不可预测性,防范措施除了技术辅助手段外,更多地需要依靠管理手段。因此,物联网应用层的信息保障还需要科学管理手段。智能处理平台的大小不同,大的可以是高性能工作站,小的可以是移动设备,如手机等。工作站的威胁是内部人员恶意操作,而移动设备的一个重大威胁是丢失。由于移动设备不仅是信息

处理平台，而且其本身通常携带大量重要机密信息，因此，如何降低作为处理平台的移动设备丢失所造成的损失是重要的安全挑战之一。

为了满足物联网智能应用层的基本安全需求，需要如下安全机制：

(1) 可靠的认证机制和密钥管理方案；

(2) 高强度数据机密性和完整性服务；

(3) 可靠的密钥管理机制，包括 PKI 和对称密钥的有机结合机制；

(4) 可靠的高智能处理手段；

(5) 入侵检测和病毒检测；

(6) 恶意指令分析和预防，访问控制及灾难恢复机制；

(7) 保密日志跟踪和行为分析，恶意行为模型的建立；

(8) 密文查询、秘密数据挖掘、安全多方计算、安全云计算技术等；

(9) 移动设备文件(包括秘密文件)的可备份和恢复；

(10) 移动设备识别、定位和追踪机制。

针对上述安全架构，需要发展相关的密码技术，包括访问控制、匿名签名、匿名认证、密文验证(包括同态加密)、门限密码、叛逆追踪、数字水印和指纹技术等。

物联网的核心不是识别，而是通过识别解决实际问题。物联网的部署和连接是交叉进行的，运行时其拓扑结构不断发生变化，这就导致了应用终端的输入/输出控制难题的产生。随着我国推进三网融合以及 3G 广泛应用，其安全性进一步凸显。存在着应用终端与感知节点的远程签约识别、病毒、黑客、恶意软件的攻击、3G 终端的不法利用等问题。

应用层设计的是综合的或有个体特性的具体应用业务，它所涉及的某些安全问题通过前面几个逻辑层的安全解决方案可能仍然无法解决。在这些问题中，隐私保护就是典型的一种。无论感知层、传输层还是应用层，都不涉及隐私保护的问题，但它却是一些特殊应用场景的实际需求，即应用层的特殊安全需求。物联网的数据共享有多种情况，涉及不同权限的数据访问。此外，在应用层还将涉及知识产权保护、计算机取证、计算机数据销毁等安全需求和相应技术。

由于物联网需要根据不同应用需求对共享数据分配不同的访问权限，而且不同权限访问同一数据可能得到不同的结果。例如，道路交通监控视频数据在用于城市规划时只需要很低的分辨率即可，因为城市规划需要的是交通堵塞的大致情况；当用于交通管制时就需要清晰一些，因为需要知道交通实际情况，以便能及时发现哪里发生了交通事故，以及交通事故的基本情况等；当用于公安破案侦查时可能就需要更为清晰的图像，以便能准确识别汽车牌照等信息。因此如何以安全方式处理信息是应用中的一项挑战。

在使用互联网的商业活动中，特别是在物联网环境的商业活动中，无论采取了什么技术措施，都难免恶意行为的发生。如果能根据恶意行为所造成后果的严重程度给予相应的惩罚，那么就可以减少恶意行为的发生。技术上，这需要搜集相关证据。因此，计算机取证就显得非常重要，当然这有一定的技术难度，主要是因为计算机平台种类太多，包括多种计算机操作系统、虚拟操作系统、移动设备操作系统等。与计算机取证相对应的是数据销毁。数据销毁的目的是销毁那些在密码算法或密码协议实施过程中所产生的临时中间变量，一旦密码算法或密码协议实施完毕，这些中间变量将不再有用。但这些中间变量如果落入攻击者手中，可能为攻击者提供重要的参数，从而增大其成功攻击的可能性。因此，这些临时中

间变量需要及时安全地从计算机内存和存储单元中删除。计算机数据销毁技术不可避免地会被计算机犯罪提供证据销毁工具,从而增大计算机取证的难度。因此如何处理好计算机取证和计算机数据销毁这对矛盾是一项具有挑战性的技术难题,也是物联网应用中需要解决的问题。

物联网的主要市场将是商业应用,在商业应用中存在大量需要保护的知识产权产品,包括电子产品和软件等。在物联网的应用中,对电子产品的知识产权保护将会提高到一个新的高度,对应的技术要求也是一项新的挑战。

针对上述问题,终端设计时从以下三个方面考虑安全性：读取控制、用户认证和使用的不可抵赖性。物联网的信息安全问题将不仅仅是技术问题,还会涉及许多非技术因素。下述几方面的因素很难通过技术手段来实现。

(1) 教育。让用户意识到信息安全的重要性和如何正确使用物联网服务以减少机密信息的泄露机会。

(2) 管理。严谨的科学管理方法将使信息安全隐患降低到最小,特别应注意信息安全管理。

(3) 信息安全管理。找到信息系统安全方面最薄弱环节并进行加强,以提高系统的整体安全程度,包括资源管理、物理安全管理、人力安全管理等。

(4) 口令管理。许多系统的安全隐患来自于账户口令的管理。

因此在物联网的设计和使用过程中,除了需要加强技术手段提高信息安全的保护力度外,还应注重对信息安全有影响的非技术因素,从整体上降低信息被非法获取和使用的几率。

9.4.3 应用层安全现状

物联网的发展,特别是物联网中的信息安全保护技术,需要学术界和企业界协同合作来完成。许多学术界的理论成果看似很完美,但可能不很实用,而企业界设计的在实际应用中满足一些约束指标的方案又可能存在严重的安全漏洞。信息安全的保护方案和措施需要周密考虑和论证后才能实施,设计者对设计的信息安全保护方案不能抱有任何侥幸心理,而实践也证明攻击者往往比设计者想象得更聪明。

然而,现实情况是学术界与企业界几乎是独立的两种发展模式,其中交叉甚少,甚至双方互相轻视：学术界认为企业界的设计没有新颖性,而企业界认为学术界的设计是乌托邦,很难在实际系统中使用。这种现象的根源是学术机构与企业界的合作较少,即使有合作,也是目标导向很强的短期项目,学术研究人员大多不能深入理解企业需求,企业的研究人员在理论深度上有所欠缺,而在信息安全系统的设计中则需要很强的理论基础。

再者,信息安全常常被理解为政府和军事等重要机构专有的东西。随着信息化时代的发展,特别是电子商务平台的使用,人们已经意识到信息安全更大的应用在商业市场。尽管一些密码技术,特别是密码算法的选取,在流程上受到国家有关政策的管控,但作为信息安全技术,包括密码算法技术本身,则是纯学术的东西,需要公开研究才能提升密码强度和信息安全的保护力度。

借鉴国外一些成功的经验,鼓励科研机构的研究人员与企业界的研究人员多进行技术沟通,共同完成某些研究项目。这一点国家已经做了大量努力,特别一些面向企事业单位合

作的国家重大研究专项提供了很好的企事业合作平台，这一政策需要继续贯彻下去并不断加强。在对科学研究的资助方面，需要一种更好的管理方式，减免“跑经费”的时间，使得科研人员，特别是一些有能力的科研人员，能够安心科研工作，以做出更大的科技创新。

9.5 物联网信息安全与互联网信息安全的不同

随着网络技术的迅速发展和广泛应用，物联网的概念进入人们的视野，有业内专家认为，物联网一方面可以提高经济效益、节约成本，另一方面可以为全球经济复苏提供技术动力。物联网的应用，是将传感器嵌入我们日常生活中的各种物品中，然后将“物联网”与现有的互联网进行整合，在这个整合后的网络中，人们可以对网络内的人员、设备进行远程交互和管理，这将进一步提高资源的利用率和生产力水平，从而改善人与自然的关系。毫无疑问，如果“物联网”时代来临，人们的日常生活将发生翻天覆地的变化。然而，由于现有互联网的安全问题，再加上传感器和射频识别技术的不完善，可以预见物联网时代的安全问题将更加严峻。

9.5.1 物联网与安全相关的特征

1. 可感知性

物品与互联网相连接，是通过射频识别(RFID)、传感器、二维识别码和 GPS 定位等技术随时随地获取物体的信息。换言之，无论何时何地，人们都可以知道物品的确切位置和其周围环境。物联网的应用，必须以物品的可感知为前提。只有物品、设备和设施的相关信息均可唯一识别，并数据化描述，才可通过网络进行远程监控。例如，当公安机关接到报案有车辆丢失时，警方只需通过 GPS 定位系统就可实时获取车辆的状况、确切位置和周围环境等信息。

2. 可传递性

物品通过各种电信网络与互联网的融合，将物体的信息实时准确地传递出去，才能真正地实现远程的人物交互和智能管理控制。因此，物联网是与互联网、无线网络高度融合的产物。物品设备的信息通过各种通信网络进行传递，才能将各种物品相连接。例如，在森林中布置相应的传感器，一旦发生火灾，传感器通过周围的无线网络将着火点的信息动态传播出去，无线网络与互联网或移动通信网相连接，将信息自动传递给距离着火点最近的森林警察，这样可以快速出警，有效防止火灾的蔓延。

3. 可处理性

所谓智能处理，就是利用云计算，模糊识别等各种智能计算技术，对海量的数据和信息进行分析和处理，对物体实施智能化的控制。据美国权威咨询机构 FORESTER 预测，到 2020 年，世界上物物互联的业务，跟人与人通信的业务相比，将达到 30∶1。因此，在物联网时代，我们将要面对海量信息。充分发展智能处理技术，减少人工操作，才能实现物品彼此进行“交流”而无须人工干预，真正提高生产力水平。以酒后驾车为例，如果在汽车启动系统上装上酒精含量传感器，司机每次启动车辆前，都需要对其进行检测。如果酒精含量超标，启动系统将停止发动机的工作，并通过无线网络通知司机的亲人或警方，从而杜绝酒后驾车，保障司机与行人的安全。

9.5.2 物联网的安全问题

物联网的应用,可使人与物的交互更加方便,给人们带来诸多便利。在物联网的应用中,如果网络安全无保障,那么个人隐私、物品信息等随时都可能被泄露。而且如果网络不安全,物联网的应用为黑客提供了远程控制他人物品、甚至操纵城市供电系统、夺取机场管理权限的可能性。不可否认,物联网在信息安全方面存在很多问题。根据物联网的上述特点,其除了面对一定通信网络的传统网络安全问题之外,还存在着一些与已有移动网络安全不同的特殊安全问题。这是由于物联网是由大量设备构成,相对缺乏人的管理和智能控制所造成的。这些安全问题主要体现在以下几个方面。

1. 传感器的本体安全问题

物联网之所以可以节约人力成本,是因为其大量使用传感器来标示物品设备,由人或机器远程操控它们来完成一些复杂、危险和机械的工作。在这种情况下,物联网中的这些物品设备多数是部署在无人监控的地点工作的,那么攻击者可以轻易接触到这些设备,针对这些设备或其上面的传感器本体进行破坏,或者通过破译传感器通信协议,对它们进行非法操控。如果国家一些重要机构依赖于物联网时,攻击者可通过对传感器本体的干扰,从而达到影响其标示设备的正常运行。例如,电力部门是国民经济发展的重要部门,在远距离输电过程中,有许多变电设备可通过物联网进行远程操控。在无人变电站附近,攻击者可非法使用红外装置来干扰这些设备上的传感器。如果攻击者更改设备的关键参数,后果将不堪设想。传感器通常情况下,功能简单、携带能量少,这使得它们无法拥有复杂的安全保护能力,而物联网涉及的通信网络多种多样,它们的数据传输和消息也没有特定的标准,所以无法提供统一的安全保护体系。

2. 核心网络的信息安全问题

物联网的核心网络应当具有相对完整的安全保护能力,但是由于物联网中节点数量庞大,而且以集群方式存在,因此会导致在数据传输时,由于大量机器的数据发送而造成网络拥塞。而且,现有通行网络是面向连接的工作方式,而物联网的广泛应用必须解决地址空间空缺和网络安全标准等问题,从目前的现状看物联网对其核心网络的要求,特别是在可信、可知、可管和可控等方面,远远高于目前的IP网所提供的能力,因此认为物联网必定会为其核心网络采用数据分组技术。此外,现有的通信网络的安全架构均是从人的通信角度设计的,并不完全适用于机器间的通信,使用现有的互联网安全机制会割裂物联网机器间的逻辑关系。庞大且多样化的物联网核心网络必然需要一个强大而统一的安全管理平台,否则对物联网中各物品设备的日志等安全信息的管理将成为新的问题,并且由此可能会割裂各网络之间的信任关系。

3. 物联网的加密机制问题

互联网时代,网络层传输的加密机制通常是逐跳加密,即信息发送过程中,虽然在传输过程中数据是加密的,但是途经的每个节点上都是需要解密和加密,也就是说数据在每个节点都是明文。而业务层传输的加密机制则是端到端的,即信息仅在发送端和接收端是明文,而在传输过程中途经的各节点上均是密文。逐跳加密机制只对必须受保护的链接进行加密,并且由于其在网络层进行,所以可以适用所有业务,即各种业务可以在同一个物联网业务平台上实施安全管理,从而做到安全机制对业务的透明,保障了物联网的高效率、低成本。

但是，由于逐跳加密需要在各节点进行解密，因此中间所有节点都有可能解读被加密的信息，因此逐跳加密对传输路径中各节点的可信任度要求很高。如果采用端到端的加密机制，则可以根据不同的业务类型选择不同等级的安全保护策略，从而可以为高安全要求的业务定制高安全等级的保护。但是，这种加密机制不对消息的目的地址进行保护，这就导致此种加密机制不能掩盖传输消息的源地址和目标地址，并且容易受到网络嗅探而发起的恶意攻击。从国家安全的角度来说，此种加密机制也无法满足国家合法监听的安全需要。如何明确物联网中的特殊安全需要，考虑如何为其提供以及提供何种等级的安全保护，以架构合理的适合物联网的加密机制亟待解决。

4. 物联网安全的非技术因素

目前物联网发展在中国表现为行业性太强，公众性和公用性不足，重数据收集、轻数据挖掘与智能处理，产业链长但每一环节规模效益不够，商业模式不清晰。物联网是一种全新的应用，要想得以快速发展一定要建立一个社会各方共同参与和协作的组织模式，集中优势资源，这样物联网应用才会朝着规模化、智能化和协同化方向发展。物联网的普及，需要各方的协调配合及各种力量的整合，这就需要国家的政策以及相关立法走在前面，以便引导物联网朝着健康稳定快速的方向发展。此外，人们的安全意识教育也将是影响物联网安全的一个重要因素。

9.5.3 物联网安全与传统网络安全的区别

区别一：已有的对传感网（感知层）、互联网（传输层）、移动网（传输层）、全安多方计算、云计算（处理层）等的一些安全解决方案在物联网环境可能不再适用。物联网所对应的传感网的数量和终端物体的规模是单个传感网所无法相比的；物联网所联接的终端物体的处理能力将有很大差异物联网所处理的数据量将比现在的互联网和移动网都大得多。

区别二：即使分别保证感知层、传输层和处理层的安全，也不能保证物联网的安全，因为物联网是融几个层于一体的大系统，许多安全问题来源于系统整合；物联网的数据共享对安全性提出更高的要求。物联网的应用将对安全提出新要求，比如隐私保护不属于任一层的安全需求，但却是许多物联网应用的安全需求。

9.5.4 物联网安全的薄弱环节

物联网的特点是感知数据无处不在，因此数据信息的安全性是物联网首要解决的问题，物联网的层级结构中存在不同程度的安全性问题，如表 9-5-1 所示。

表 9-5-1 物联网各个层级的安全问题

层级	问　　题
全面感知层	信息安全保护机制严重缺乏 缺少轻量级密码算法/轻量级安全协议 多变性强，标准化程度低
可靠传输层	信息安全保护机制比较完善 缺少高强度密码算法/高强度安全协议 标准化程度高 可使用现有技术，并随着物联网规模的扩大而不断加强

续表

层级	问　　题
智能处理层	信息安全保护机制欠缺 工作模式尚不确定 需要工业默认的标准化 可使用某些现有技术，但安全无保障
综合应用层	不同应用之间的安全需求、安全机制差异较大 隐私保护方面的研究和产业化是最大的技术短板 安全管理作为安全隐患的非技术因素也需要加强

物联网安全研究是一个新兴的领域，任何安全技术都伴随着具体的需求应运而生，因此物联网的安全研究将始终贯穿于人们的生活之中。从技术角度来说，未来的物联网安全研究将主要集中在开放的物联网安全体系、物联网个体隐私保护模式、终端安全功能、物联网安全相关法律的制定等几个方面。

9.6 物联网信息安全体系框架

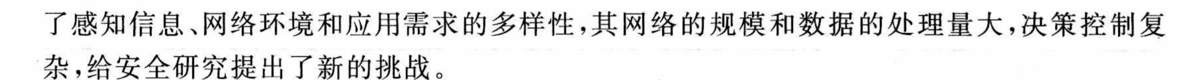
物联网是继计算机、互联网与移动通信网之后的信息产业新方向，其价值在于让物体也拥有了"智慧"，从而实现人与物、物与物之间的沟通。其核心共性技术、网络与信息安全技术以及关键应用是物联网的主要研究内容。物联网感知节点大都部署在无人监控环境，并且由于物联网是在现有的网络基础上扩展了感知网络和应用平台，传统网络安全措施不足以提供可靠的安全保障。物联网安全研究将主要集中在物联网安全体系、物联网个体隐私保护模式、终端安全功能、物联网安全相关法律的制定等方面。

9.6.1 物联网信息安全需求

信息与网络安全的目标是要达到被保护信息的机密性、完整性和可用性。随着网络和服务规模的不断增大，安全问题越来越引起人们的高度重视，相继推出了一些安全技术，如防火墙、入侵检测系统、PKI等。物联网的研究与应用仍处于初级阶段，很多的理论与关键技术还有待突破，特别是与互联网和移动通信网相比，物联网存在一些特殊的安全问题。

信息隐私是物联网信息机密性的直接体现，例如，感知终端的位置信息是物联网的重要信息资源之一，也是需要保护的敏感信息。另外，在数据处理过程中同样存在隐私保护问题，如基于数据挖掘的行为分析等。要建立访问控制机制，控制物联网中信息采集、传递和查询等操作，不会由于个人隐私或机构秘密的泄露而造成对个人或机构的伤害。信息的加密是实现机密性的重要手段，由于物联网的多源异构性，使得密钥管理显得更为困难，而对感知网络的密钥管理更是制约物联网信息机密性的瓶颈。

物联网的信息完整性和可用性贯穿物联网数据流的全过程，网络入侵、拒绝攻击服务、Sybil攻击、路由攻击等都使信息的完整性和可用性受到破坏。同时，物联网的感知互动过程也要求网络具有高度的稳定性和可靠性。物联网与许多应用领域的物理设备相关联，要保证网络的稳定可靠，物联网必须是稳定的，要保证网络的连通性，不能出现互联网中电子邮件时常丢失等问题，不然无法准确检测进库和出库的物品。因此，物联网的安全特征体现



了感知信息、网络环境和应用需求的多样性,其网络的规模和数据的处理量大,决策控制复杂,给安全研究提出了新的挑战。

9.6.2 物联网在信息安全方面的新特点

依据物联网的定义,物联网是一种虚拟网络与现实世界实时交互的新型系统。其核心和基础仍然是互联网,是在互联网基础上的延伸和扩展。其特点是无处不在的数据感知、以无线为主的信息传输、智能化的信息处理,用户端可以延伸和扩展到任何物品与物品之间,进行信息的交换和通信。由于物联网的上述特点,其在信息安全方面也不可避免地出现了一些新的特点。

(1) 设备、节点等无人看管,容易受到物理操纵

物联网多用来代替人完成一些复杂、危险和机械的工作。在此种情况下,物联网中设备、节点的工作环境大都是无人监控的。因此,攻击者很容易就能接触到这些设备,从而对设备或其嵌入其中的传感器节点进行破坏。攻击者甚至可以通过更换设备的软硬件,对它们进行非法操控。例如,在远程输电过程中,电力企业可以使用物联网来远程操控一些变电设备。如果缺乏看管,攻击者可轻易地使用非法装置来干扰这些设备上的传感器。若变电设备的某些重要参数被篡改,其后果将会极其严重。

(2) 信息传输主要靠无线通信方式,信号容易被窃取和干扰

物联网在信息传输中多使用无线传输方式,暴露在外的无线信号很容易成为攻击者窃取和干扰的对象,这会对物联网的信息安全产生严重的影响。例如:现在的第二代身份证都嵌入了RFID标签。在使用过程中攻击者可以通过窃取感知节点发射的信号,来获取所需要的信息,甚至是用户的机密信息并可据此来伪造身份,其后果不堪设想。同时,攻击者也可以在物联网无线信号覆盖的区域内,通过发射无线电信号来进行干扰,从而使无线通信网络不能正常工作,甚至于瘫痪。比如在物流运输过程中,嵌入在物品中的标签或读写设备的信号受到恶意干扰,很容易造成一些物品的丢失。

(3) 出于低成本的考虑,传感器节点通常是资源受限的

物联网的应用中通常需要部署大量的传感器,以实现充分覆盖特定区域。而且,对于已经部署了的传感器,通常是不会进行回收或维护的。因为量大和一次性的特点,传感器必须具有较低的成本,这样大规模使用才是可行的。为了降低成本,传感器通常是资源受限的。传感器一般体积较小,其能量、处理能力、存储空间、传输距离、无线电频率和带宽也是受限的。例如,MICA2M PR 400CB是目前主流的传感器,它的CPU主频为4MHz,内存为128KB,频率为916Hz,每秒仅能传输几十KB的数据,传输距离大约为500英尺。由于上述种种原因的限制,传感器节点无法使用较复杂的安全协议,因而这些传感器节点或设备也就无法拥有较强的安全保护能力。因此,攻击者针对传感器节点的这一弱点,可以通过采用连续通信的方式使节点的资源耗尽。

(4) 物联网中物品的信息能够被自动地获取和传送

物品的感知是物联网应用的前提。物品与互联网相连接,通过RFID(射频识别)、传感器、二维识别码和GPS定位等技术能够随时随地且自动地获取物品的信息。这样,人们随时随地都可以获取物品的确切位置及周围环境等信息。然而在物联网的应用中,RFID标签能被嵌入任何物品中。一旦被嵌入人们的日常生活用品中,如果物品的使用者没能察觉,

那么物品的使用者将会不受控制地被扫描、定位及追踪。这无疑对个人的隐私构成了极大的威胁。

9.6.3 物联网信息安全技术架构

中国移动总裁王建宙指出,物联网应具备三个特征,即全面感知、可靠传递和智能处理。尽管对物联网概念还有其他一些不同的描述,但内涵基本相同。因此在分析物联网的安全性时,也相应地将其分为三个逻辑层,即感知层、传输层和处理层。除此之外,在物联网的综合应用方面还应该有一个应用层,它是对智能处理后的信息的利用。在某些框架中,尽管智能处理与应用层都可能被作为同一逻辑层进行处理,但从信息安全的角度考虑,将应用层独立出来更容易建立安全架构,如图 9-6-1 所示。

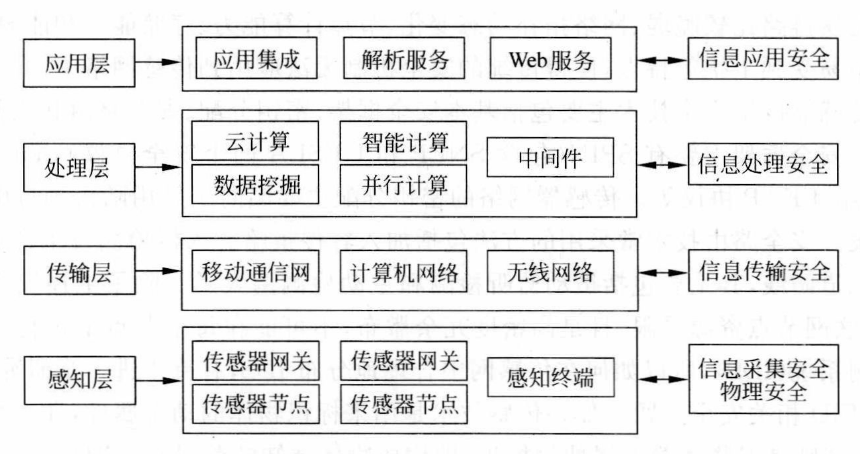


图 9-6-1 物联网安全架构

1. 物理安全层

保证物联网信息采集节点不被欺骗、控制、破坏。

2. 信息采集安全层

防止采集的信息被窃听、篡改、伪造和重放攻击,主要涉及传感技术和 RFID 的安全。在物联网层次模型中,物理安全层和信息采集安全层对应于物联网的感知层安全。感知层采用的安全技术包括高速密码芯片、密码技术、PKI 公钥基础设施等。

3. 信息传输安全层

保证信息传递过程中数据的机密性、完整性、真实性和可用性,主要是电信通信网络的安全,对应于物联网的传输层安全。传输层采用的安全技术包括: 虚拟专用网、无线网安全、安全路由、防火墙、安全域策略等。

4. 信息处理安全层

保证信息的处理和储存安全等,主要是云计算安全和中间件安全等,对应于物联网中处理层安全。处理层采用的安全技术包括内容分析、病毒防治、攻击监测、应急反应、战略预警等。信息应用安全层任务是保证信息的私密性和使用安全等,主要是个体隐私保护和应用安全等,对应于物联网中应用层安全。应用层采用的安全技术包括身份认证、可信终端、访问控制、安全审计等。

5. 感知层安全

物联网感知层的任务是实现智能感知外界信息功能，包括信息采集、捕获和物体识别，该层的典型设备包括 RFID 装置、各类传感器（如红外、超声、温度、湿度、速度等）、图像捕捉装置（摄像头）、全球定位系统（GPS）、激光扫描仪等，其涉及的关键技术包括传感器、RFID、自组织网络、短距离无线通信、低功耗路由等。

（1）传感技术及其联网安全。作为物联网的基础单元，传感器在物联网信息采集层面能否如愿以偿完成它的使命，成为物联网感知任务成败的关键。传感器技术是物联网技术的支撑、应用的支撑和未来泛在网的支撑。传感器感知了物体的信息，RFID 赋予它电子编码。传感网到物联网的演变是信息技术发展的阶段表征。传感技术利用传感器和多跳自组织网，协作地感知、采集网络覆盖区域中感知对象的信息，并发布给向上层。由于传感网络本身具有无线链路比较脆弱、网络拓扑动态变化、节点计算能力、存储能力和能源有限、无线通信过程中易受到干扰等特点，使得传统的安全机制无法应用到传感网络中。

目前传感器网络安全技术主要包括基本安全框架、密钥分配、安全路由和入侵检测和加密技术等。安全框架主要有 SPIN（包含 SNEP 和 UESLA 两个安全协议），Tiny Sec、参数化跳频、Lisp、LEAP 协议等。传感器网络的密钥分配主要倾向于采用随机预分配模型的密钥分配方案。安全路由技术常采用的方法包括加入容侵策略。入侵检测技术常常作为信息安全的第二道防线，其主要包括被动监听检测和主动检测两大类。除了上述安全保护技术外，由于物联网节点资源受限，且是高密度冗余撒布，不可能在每个节点上运行一个全功能的入侵检测系统（IDS），所以如何在传感网中合理地分布 IDS，有待于进一步研究。

（2）RFID 相关安全问题。如果传感技术是用来标识物体的动态属性，那么物联网中采用 RFID 标签则是对物体静态属性的标识，即构成物体感知的前提。RFID 是一种非接触式的自动识别技术，它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据。识别工作无须人工干预。RFID 也是一种简单的无线系统，该系统用于控制、检测和跟踪物体，由一个询问器（或阅读器）和很多应答器（或标签）组成。通常采用 RFID 技术的网络涉及的主要安全问题有：①标签本身的访问缺陷。任何用户（授权以及未授权的）都可以通过合法的阅读器读取 RFID 标签，而且标签的可重写性使得标签中数据的安全性、有效性和完整性都得不到保证。②通信链路的安全。③移动 RFID 的安全，主要存在假冒和非授权服务访问问题。目前，实现 RFID 安全性机制所采用的方法主要有物理方法、密码机制以及二者结合的方法。

6. 网络层安全

物联网网络层主要实现信息的转发和传送，它将感知层获取的信息传送到远端，为数据在远端进行智能处理和分析决策提供强有力的支持。考虑到物联网本身具有专业性的特征，其基础网络可以是互联网，也可以是具体的某个行业网络。物联网的网络层按功能可以大致分为接入层和核心层，因此物联网的网络层安全主要体现在以下两个方面。

（1）来自物联网本身的架构、接入方式和各种设备的安全问题。物联网的接入层将采用如移动互联网、有线网、WiFi、WiMAX 等各种无线接入技术。接入层的异构性使得如何为终端提供移动性管理以保证异构网络间节点漫游和服务的无缝移动成为研究的重点，其中安全问题的解决将得益于切换技术和位置管理技术的进一步研究。另外，由于物联网接入方式将主要依靠移动通信网络。移动网络中移动站与固定网络端之间的所有通信都是通过无线接口来传输的。然而无线接口是开放的，任何使用无线设备的个体均可以通过窃听

无线信道而获得其中传输的信息,甚至可以修改、插入、删除或重传无线接口中传输的消息,以达到假冒移动用户身份以欺骗网络端的目的。因此移动通信网络存在无线窃听、身份假冒和数据篡改等不安全的因素。

(2) 进行数据传输的网络相关安全问题物联网的网络核心层主要依赖于传统网络技术,其面临的最大问题是现有的网络地址空间短缺。主要的解决方法寄希望于正在推进的IPv6 技术。IPv6 采纳 IPsec 协议,在 IP 层上对数据包进行了高强度的安全处理,提供数据源地址验证、无连接数据完整性、数据机密性、抗重播和有限业务流加密等安全服务。但任何技术都不是完美的,实际上 IPv4 网络环境中大部分安全风险在 IPv6 网络环境中仍将存在,而且某些安全风险随着 IPv6 新特性的引入将变得更加严重:首先,拒绝服务攻击(DDoS)等异常流量攻击仍然猖獗,甚至更为严重,主要包括 TCP-flood、UDP-flood 等现有DDoS 攻击,以及 IPv6 协议本身机制的缺陷所引起的攻击;其次,针对域名服务器(DNS)的攻击仍将继续存在,而且在 IPv6 网络中提供域名服务的 DNS 更容易成为黑客攻击的目标;再次,IPv6 协议作为网络层的协议,仅对网络层安全有影响,其他(包括物理层、数据链路层、传输层、应用层等)各层的安全风险在 IPv6 网络中仍将保持不变。采用 IPv6 替换 IPv4协议需要一段时间,向 IPv6 过渡只能采用逐步演进的办法,为解决两者间互通所采取的各种措施将带来新的安全风险。

7. 应用层安全

物联网应用是信息技术与行业专业技术的紧密结合的产物。物联网应用层充分体现物联网智能处理的特点,其涉及业务管理、中间件、数据挖掘等技术。考虑到物联网涉及多领域多行业,因此广域范围的海量数据信息处理和业务控制策略将在安全性和可靠性方面面临巨大挑战,特别是业务控制、管理和认证机制、中间件以及隐私保护等安全问题显得尤为突出。

(1) 业务控制和管理。由于物联网设备可能是先部署后连接网络,而物联网节点又无人值守,所以如何对物联网设备远程签约,如何对业务信息进行配置就成了难题。另外,庞大且多样化的物联网必然需要一个强大而统一的安全管理平台,否则单独的平台会被各式各样的物联网应用所淹没,但这样将使如何对物联网机器的日志等安全信息进行管理成为新的问题,并且可能割裂网络与业务平台之间的信任关系,导致新一轮安全问题的产生。传统的认证是区分不同层次的,网络层的认证负责网络层的身份鉴别,业务层的认证负责业务层的身份鉴别,两者独立存在。但是大多数情况下,物联网机器都是拥有专门的用途,因此其业务应用与网络通信紧紧地绑在一起,很难独立存在。

(2) 中间件。如果把物联网系统和人体做比较,感知层好比人体的四肢,传输层好比人的身体和内脏,那么应用层就好比人的大脑,软件和中间件是物联网系统的灵魂和中枢神经。目前,使用最多的几种中间件系统是:CORBA、DCOM、J2EE/EJB 以及被视为下一代分布式系统核心技术的 Web Services。在物联网中,中间件处于物联网的集成服务器端和感知层、传输层的嵌入式设备中。服务器端中间件称为物联网业务基础中间件,一般都是基于传统的中间件(应用服务器、ESB/MQ 等),加入设备连接和图形化组态展示模块构建;嵌入式中间件是一些支持不同通信协议的模块和运行环境。中间件的特点是其固化了很多通用功能,但在具体应用中多半需要二次开发来实问题(如个人出行路线、消费习惯、个体位置信息、健康状况、企业产品信息等),因此隐私保护是必须考虑的一个问题。如何设计不同

场景、不同等级的隐私保护技术将是为物联网安全技术研究的热点问题。

(3) 隐私保护。在物联网发展过程中，大量的数据涉及个体隐私问题(如个人出行路线、消费习惯、个体位置信息、健康状况、非个体产品信息等)，因此隐私保护是必须考虑的一个问题。如何设计不同场景、不同等级的隐私保护技术将是为物联网安全技术研究的热点问题。当前隐私保护方法主要有两个发展方向：一是对等计算(P2P)，通过直接交换共享计算机资源和服务；二是语义 Web，通过规范定义和组织信息内容，使之具有语义信息，能被计算机理解，从而实现与人的相互沟通。

9.7 本章小结

本章首先介绍了物联网中的信息安全的概念和重要性，之后分别重点介绍了物联网的感知层、网络层、应用层的安全问题、安全架构、安全机制、安全策略等，最后综合各层级的安全需求，提出了物联网的整体安全架构和技术架构。

习题

1. 信息安全包括哪几个方面？
2. 物联网的感知层面临的主要威胁包括什么？
3. 叙述物联网感知层的保护机制主要有哪几个方面？
4. RFID 技术的网络涉及的主要安全问题是什么？
5. 简述 RFID 系统中个人隐私问题解决方案的原理。
6. 物联网的网络层面临的安全问题是什么？网络层对安全的需求又是什么？
7. 传感网安全技术的内容是什么？
8. 物联网的应用层面临的安全问题是什么？可能的安全机制有哪些？
9. 物联网安全与传统网络安全的区别是什么？
10. 物联网信息安全技术架构是什么？

第10章

人工智能和神经网络

物联网实现了人与物，物与物的融合，是人类对客观世界具有透彻的感知能力、更全面的认识能力、更智慧的处理能力。这种新的思维模式可以提高人类的生产力、效率、效益的同时，改善社会发展与地球生态的和谐性、可持续发展的关系，“互联化”、“物联网”与“智能化”的融合最终形成“智慧地球”，而人工智能和神经网络就是帮助实现物联网最终目标的技术。

10.1 人工智能

1956年，被认为是人工智能之父的麦卡锡(J. McCarthy)组织了一次达特茅斯(Dartmouth)人工智能夏季研讨会，将许多对机器智能感兴趣的专家学者聚集在一起进行了一个月的讨论。他们讨论了人工智能的可行性和实现方法。从那时起，这个领域被命名为“人工智能”，为以后的研究工作奠定了基础。

自此人工智能的发展已经走过了半个多世纪的历程，但是尚无一个统一的定义。美国斯坦福大学人工智能研究中心的著名的尼尔教授对人工智能下了一个定义：“人工智能就是关于知识的学科——怎样表示知识以及怎样获得知识使用知识的科学。”而美国麻省理工学院的温斯顿教授认为：“人工智能就是研究如何使计算机去做过去只有人才能做的智能工作。”这些说法反映了人工智能学科的基本思想和基本内容，即人工智能只要研究人类智能活动的规律，构造具有一定智能的人工系统，研究如何让计算机去完成以往需要人完成的智力才能胜任的工作，也就是研究如何应用计算机的软硬件来模拟人类某些智能行为的基本理论、方法和技术。

目前，人工智能的研究及其应用领域很多，大部分是结合具体领域进行的，主要包括问题求解、机器学习、专家系统、模式识别、自动定理证明和自然语言理解等。问题求解的研究设计问题、表达空间的研究、搜索策略的研究和规约策略的研究。目前有代表性的问题求解程序就是下棋程序。机器学习是研究如何使用计算机来模拟人类学习的一个研究领域，就是研究计算机如何获取新知识和新技能，识别现有知识，不断改善性能，实现自我完善的方法。专家系统是目前人工智能中最有成效、最活跃的一个研究领域，是一种基于知识的计算机知识系统，从人类领域专家那里获得知识，并用来解决只有领域专家才能解决的困难问题。其定义为：专家系统是一种具有特定领域内大量知识与经验的程序系统，它应用人工智能技术，根据某个领域的一个或多个人类专家提供的知识和经验进行推理和判断，模拟人类专家求解问题的思维过程，以解决该领域内的各个问题。“模式”一词是指一些模仿的标准样式活标本。所以模式识别就是指研究如何使机器具有感知能力的一个研究领域，其中

主要研究对视觉模式及听觉模式的识别,就是指识别出给定物体所模仿的标本。自动定理证明的研究在人工智能方法的发展中曾经产生过重要的影响和推动作用,是人工智能中最先进行研究并得到成功应用的一个研究领域。定理证明的实质是对前提 P 和结论 Q,证明 P→Q 的永真性。其中海伯伦(Herbrand)与鲁宾逊(Robinson)先后进行了卓有成效的研究,提出了相应的理论及方法,为自动定理证明奠定了理论基础。从宏观上看自然语言理解为智能计算机能够执行人类所期望的某些语言功能。此外人工智能在机器人学、人工神经网络、智能检索方面都有很大进展。随着科学技术的发展,人工智能各个领域间联系将更加紧密,互相渗透。这种融合与渗透必将促进人工智能研究的发展,促使其走向实际应用。

知识是人类智能的基础。人工智能是一门研究用计算机来模拟和执行人类大脑的某些智力功能的交叉学科,所以人工智能为标题的求解也是以知识为基础的。如何从现实世界中获取知识,如何将已获得的知识以计算机内部代码的形式加以合理的标示以便于存储,以及如何应用这些知识进行推理以解决实际的问题,即知识的获取、知识的表述和应用这些知识进行推理是人工智能学科研究的各主要问题。

10.1.1　知识的表示方法

知识是人们把实践中获得的信息关联在一起所形成的信息结构。知识具有相对正确性、不确定性、可表示性和可利用性。对知识可以从不同的角度划分。以知识的作用范围来划分,知识可以划分为常识性知识和领域性知识;就知识的作用及表示方法来划分,可分为事实性知识、规则性知识、控制性知识和源知识;以知识的确定性来划分,可分为确定知识和不确定知识;按人类的思维及认识方法来分,可分为逻辑性知识和形象知识。

知识表示研究用什么形式将有关问题的知识存入计算机以便进行处理,知识表示是人工智能研究最活跃的领域之一。众所周知,无论是问题和系统的任务描述或者是经验知识的表示以推理决策,都离不开知识。对知识进行表示的过程就是把知识编码成某种数据结构的过程。按照人类从不同角度进行探索以及对问题的不同理解,知识表示方法可以分为陈述性知识表示和过程性知识表示两大类。对同一知识,一般都可以用多种方式进行表示,但不同的方式对同一知识的表达效果是不一样的,因为不同领域中的知识一般都有不同的特点,而每一种表达方式也各有自己的长处与不足。因而,有些领域的知识可以采用这种方式表达模式比较合适,而有些领域的知识则需另外一种表达模式比较合适,有时还需要把几种表达模式结合起来,作为一个整体来表示领域的知识,达到取长补短的效果。

知识表示方法既是一个独立的课题,又与推理的方法有着密切的关系。下面对几种主要的知识表示方法及应用做一个简单的介绍。

常用的知识表示方法包括:(1)谓词逻辑;(2)状态空间;(3)产生式规则;(4)语义网络;(5)框架;(6)概念从属;(7)脚本;(8)Petri 网。

1. 谓词逻辑

谓词逻辑表示方法采用一阶谓词逻辑表示知识,是一种叙述性的知识表示方法。它的推理机制采用归结原理,主要用于自动定理证明。自从 1973 年出现了基于一阶谓词逻辑中 Horn 子句理论的 PROLOG 语言后,这种表示方法获得了广泛的应用。谓词逻辑表示知识的步骤如下。

(1) 定义谓词及个体,确定每个谓词及个体的确切含义。

(2) 根据所要表达的事物和概念,为每个谓词中的变元赋以特定的值。

(3) 根据所要表达的知识的语义,用适当的连接符将各个谓词连接起来形成谓词公式。

例 10.1 用谓词逻辑表示知识:

所有教师都有自己的学生。

首先定义谓词:

TEACHER(x):表示 x 是教师。

STUDENT(y):表示 y 是学生。

TEACHES(x,y):表示 x 是 y 的老师。

此时,该知识可用谓词表示为

$(\forall x)(\exists y)(\text{TEACHER}(x) \rightarrow \text{TEACHES}(x,y) \wedge \text{STUDENT}(y))$

该谓词公式可读作:对所有 x,如果 x 是一个教师,那么一定存在一个个体 y,x 是 y 的老师,且 y 是一个学生。

例 10.2 用谓词逻辑表示知识:

王宏是软件学院的一名学生。

李明是王宏的同班同学。

凡是软件学院的学生都喜欢编程序。

首先定义谓词:

SOFTWARE(x):表示 x 是软件学院的学生。

CLASSMATE(x,y):表示 x 是 y 的同班同学。

LIKE(x,y):表示 x 喜欢 y。

此时,可用谓词公式把上述知识表示为:

SOFTWARE(Wanghong)

CLASSMATE(Liming,Wanghong)

$(\forall x)(\text{SOFTWARE}(x) \rightarrow \text{LIKE}(x,\text{programing}))$

2. 状态空间

状态空间表示方法把求解的问题表示成问题状态、操作、约束、初始状态和目标状态。状态空间就是所有可能的状态的集合。求解一个问题就是从初始状态出发,不断应用可用的操作,在满足约束的条件下达到目标状态。问题的求解过程就可以看成是问题状态在状态空间的转移。用状态空间法表示问题时的步骤如下。

(1) 定义状态的描述表示。

(2) 用所定义的状态描述形式把问题的所有的状态都表示出来,并且确定问题的初始状态集合表述和目标状态集合表述。

(3) 定义一组算符,使得利用这组算符可把问题的一组状态转变为另一种状态。

例 10.3 利用状态空间表示问题求解二阶 Hanoi 问题。已知 3 个柱子 1、2、3 和两个盘子 A、B(A 比 B 小)。初始状态下,A、B 一次放在 1 柱子上。目标状态是 A、B 依次放在柱子 3 上。条件是每次可移动一个盘子,盘子上方是空顶方可移动,而且任何时候都不允许大盘在小盘之上。

解 按照上面给出的步骤问题以状态空间的形式表示出来。

第一步:定义问题状态的描述形式:设用 $S_K=(S_{KA},S_{KB})$ 表示问题的状态,S_{KA} 表示盘

子 A 所在的柱号，S_{KB}表示盘子 B 所在的柱号。

第二步：用所定义的状态描述形式把问题的所有可能的状态都表示出来，并确定出问题的初始状态集合描述和目标状态集合描述。本问题所有的可能状态共有 9 种，各种状态的形式描述如下：

$$S_0=(1,1),\quad S_1=(1,2),\quad S_2=(1,3)$$
$$S_3=(2,1),\quad S_4=(2,2),\quad S_5=(2,3)$$
$$S_6=(3,1),\quad S_7=(3,2),\quad S_8=(3,3)$$

问题的初始状态集合为 $S=\{S_0\}$，目标状态集合为 $G=\{S_8\}$。

第三步：定义一组算符 F。定义算符 $A(i,j)$表示把盘子 A 从第 i 号柱子移动到第 j 号柱子上的操作；算符 $B(i,j)$表示把盘子从 B 从第 i 号柱子移动到第 j 号柱子上的操作。这样定义的算符 F 中共有 12 个算符，如下所示：

$$A=(1,2),\quad A=(1,3),\quad A=(2,1),\quad A=(2,3),\quad A=(3,1),\quad A=(3,2)$$
$$B=(1,2),\quad B=(1,3),\quad B=(2,1),\quad B=(2,3),\quad B=(3,1),\quad B=(3,2)$$

至此，该问题的状态空间(S,F,G)构造完成。这就完成了对问题的状态空间的表示。

为了解决该问题，根据该状态空间的 9 种可能状态和 12 种算符，构造它的状态空间图，如图 10-1-1 所示。

在图 10-1-1 中，从初始节点(1,1)(状态 S_0)到目标节点(3,3)(状态 S_8)的任何一条通路都是问题的一个解，但是其中最短的路径长度为 3，它使由 3 个算符组成，这三个算符是 $A=(1,2)$，$B=(1,3)$，$A=(2,3)$。

3. 产生式规则

产生式规则把知识表示成“模式-动作”对，表示方式自然、简洁，它的推理机制以演绎推理为基础。推理系统也成为生产式系统，最初由 Post 与 1943 年提出的一种计算机制，1965 年由 Simon 和 Newell 引入到基于知识的系统中来。产生式规则目前已是专家系统中使用最广泛的一种表示方式，一般将这种系统统称为规则的系统。产生式通常用于表示因果关系的知识，其基本形式是 P→Q 或者 IF P THEN Q，其中，P 是产生式的前提，用于指出该产生是否可用的条件；Q 是一组结论或操作，用于指出前提 P 的条件被满足时，应该得出的结论或应该执行的操作。一般产生式系统的由三部分组成：规则库、综合数据库和推理机。它们之间的关系如图 10-1-2 所示。

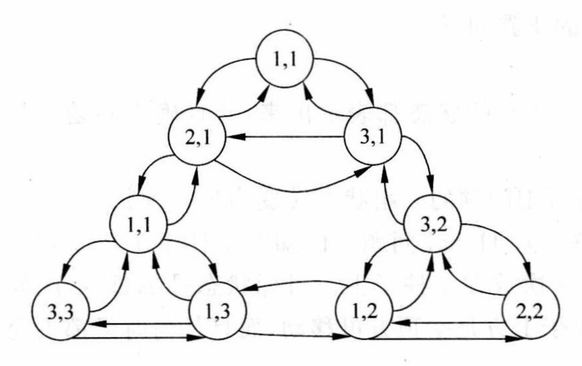


图 10-1-1 二阶 Hanoi 塔的状态空间图

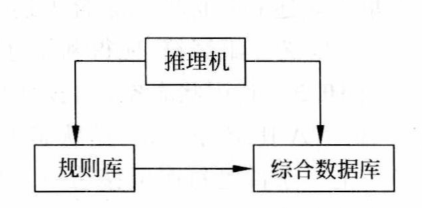


图 10-1-2 产生式系统的组成

4. 语义网络表示法

语义网络表示法是1968年奎廉(J. R. Quillian)在研究人类联想记忆时提出的心理学模型,1972年,西蒙首先将语义网络表示法用于自然语言理解系统。1975年亨德里克(G. G. Hendrix)又对全称量词的表示提出了语义网络分区技术。目前,语义网络已成为人工智能中应用较多的一种知识表示方法。语义网络是通过概念及其语义关系来表示知识的一种网络图,它是一个带标注的有向图。一个最简单的语义网络可由如下一个三元组表示(节点1,弧,节点2)可用图10-1-3所示的有向线段来表示,称做基本网元。其中A和B分别代表节点,而R则表示A和B之间的某种语义联系。当把多个基本网元相应的语义联系关联在一起的时候,可以得到一个语义网络,如图10-1-4所示。在语义网络中,节点还可以是一个语义子网络,所以,语义网络实质上可以是一种多层次的嵌套结构。

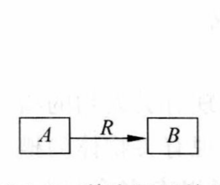


图10-1-3 基本网元的组成

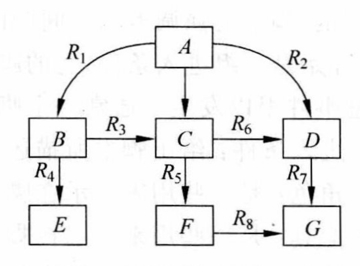


图10-1-4 基本语义网络的组成

5. 框架表示法

框架是一种描述所论述对象属性的数据结构。所论的对象可以是一个事物、一个事件或一个概念。一个框架由若干个"槽"组成,每个"槽"又可划分为若干个"侧面"。一个槽用与描述所论及对象的某一方面属性,一个侧面用于描述相应属性的一个方面。槽和侧面所具有的属性值分别称为槽值和侧面值。槽值可以是逻辑性或数字型的,具体的值可以是程序、条件、默认值或一个子框架。

例如,要描写"计算机主机"这一概念,首先分析计算机主机所具有的属性,包括品牌、生产厂商、CPU(品牌、型号)、主板(品牌、型号)、内存(品牌、型号、容量)、硬盘(品牌、型号、容量)等,可能还有许多属性,这里暂且只考虑这几种属性。主机品牌、生产厂家、CPU、主板、内存、硬盘就定为计算机主机的槽,而CPU、主板还有两个侧面,内存、硬盘还有三个侧面。如果给槽和侧面赋予具体的值,则就得到一个"计算机主机"这一概念的一个实例框架。

框架名:计算机主机

主机品牌:联想1+1

生产厂商:北京联想集团公司

CPU:品牌:Intel

　　型号:奔腾Ⅲ/933

主板:品牌:QDI

　　型号:ATX VA5

内存:品牌:现代

　　型号:SDRAM

　　容量:128MB

硬盘：品牌：SEAGATE

型号：ST320423A

容量：20GB

6. 概念从属

概念从属是表示自然语言的语义的一种理论，它的特点是便于根据语句进行推理，而且与语句本身所用的语言无关。概念从属表示的单元并不对应语句中的单词，而是对应组合成词义的概念单元。这个理论是Schank在1973年首先提出的，从那时起，这种表示方法就开始用于阅读和理解自然语言的很多程序中。

7. 脚本

脚本用于描述固定的事件序列，它的结构类似于框架。一个脚本由一组槽组成。与框架不同的是，脚本更强调事件之间的因果关系。脚本中描述的事件形成了一个巨大的因果链，链的开始是一组进入条件，它的脚本中的第一个事件得以发生。链的末尾是一组结果，它使后继事件得以发生。通常一个脚本由以下几个部分构成。

(1) 进入条件：给出脚本所描述时间的前提条件。

(2) 角色：是一些用来表示在脚本所描述事件中可能出现有关人物的槽。

(3) 道具：是一些用来表示在脚本所描述事件中可能出现有关物体的槽。

(4) 场景：用来描述事件发生的真实顺序。一个事件可以有多个场景组成，而每个场景有可以是其他的脚本。

(5) 结果：给出脚本所描述事件发生以后所产生的结果。

脚本表示最著名的例子就是餐厅脚本。通过对许多餐厅的了解，人们建立了许多详尽的预期，即脚本，它表明了餐厅将要发生的事情。餐厅事件的一般顺序包括：进入、找座、点菜、等待、吃饭、接受账单、付账、离去。

8. Petri网

Petri网是由Petri提出来的。由于它能够很好地模拟异步并行操作，所以作为模拟用的数学工具在并行处理和分布式计算机领域中应用较多。利用Petri网可以实现逻辑运算、语义网框架、与或图、状态空间与规则等多种功能，因此也可以作为一种通用的知识表示形式。

除了上述的几种主要的只是表示方法以外，还有好多知识表示方法，如直接表示法、过程表示法、面向对象的表示法，以及多种非规范逻辑等。

10.1.2 确定性推理方法

推理是人类解决问题的主要思维方式，其任务是利用知识进行推导从而得出问题的解答，因而与知识的表达方法有着密切的关系。所谓推理就是按照某种策略从已有的事实和知识推出结论的过程。推理由程序实现的，成为推理机。在人工智能系统中，推理机利用知识库中的知识，按照一定的控制策略求解问题。例如，在医疗诊断专家系统中，知识库存储专家的经验及医学常识，数据库存放患者的病症、化验结果等初始事实，利用该专家系统来为患者诊治疾病实际上就是一次推理过程。即患者的症状及化验结果等初始事实出发，利用知识库中的知识及一定的控制策略，对病情做出诊断，并开出医疗处方。像这样从初始事实出发，不断应用知识库中的知识，逐步推出结论的过程就是推理。

人类的智能活动有多种思维方式，人工智能作为对人类智能的模拟，相应地也有多种推理方式。下面从不同的角度对推理方式进行分类。

1. 演绎推理、归纳推理、默认推理

推理的基本任务是从一种判断推理推出另外一种判断。如果从推出新判断的途径来分，推理可以分为演绎推理、归纳推理和默认推理。

(1) 演绎推理。演绎推理是从全称判断推出特称判断或者单称判断的过程，即从一般到个别的推理。演绎推理中，最常用的形式是三段推理法。

三段由三个判断组成，其中 2 个判断是前提，分为大前提和小前提，另一个判断为结论。例如：

① 所有的推理都是智能系统；

② 专家系统是推理系统；

③ 所以，专家系统是智能系统。

这就是一个三段论。其中①是大前提，它描述的是关于一般的知识；②是小前提，它描述的是关于个体的判断；③是结论，它描述的是由大前提推出的适合于小前提的新判断。

可以看出，在演绎推理中，结论是蕴含在大前提中的，即已知判断中推出其中包含的判断，所以演绎推理并没有增加新的知识。

在三段式的演绎推理中，只要大前提和小前提是正确的，则由它们推出的结论也是正确的。

(2) 归纳推理。人们对客观事物的认识总是由认识个别事物开始，进而认识事物的普遍规律，其中归纳推理起了重要的作用。归纳推理是从足够多的事例中归纳出一般性结论的推理过程，是一种从个别到一般的推理过程。常用的归纳推理有简单枚举法和类比法。

枚举法归纳推理是由已观察的事物都有某种属性，而没有观察到相反的事例，从而推出某类事物都有某属性的推理方法。如果从归纳时所选事例的广泛性来划分，枚举法归纳推理又可分为完全归纳推理与不完全归纳推理。所谓完全归纳推理是指在进行归纳时考察了相应事物的全部对象，并根据这些对象是否都具有某种属性，从而推出这个事物是否具有这个属性。所谓不完全归纳推理是指只考察可相应事物的部分对象，就得出结论。不完全推理得出的结论不具有必然性，而完全归纳推理是必然性推理。例如，检查产品质量时，一般是从中随机抽取检查一定比例的产品，如果抽样检查全部合格，就得出产品质量合格的结论，这就是不完全归纳推理。

在两个或者两类事物的许多属性都相同的基础上，推出它们在其他属性上也相同，这就是类比法归纳推理。类比法的可靠程度取决于两个或者两类事物的相同属性与推出的属性之间的相关程度，相关程度越高，则类比法的可靠性就越高。

(3) 默认推理。默认推理又被称为缺省推理，它使在知识不完全的情况下假设某些条件已经具备所进行的推理。例如，在条件 A 已成立的情况下，如果没有足够的证据能证明条件 B 不成立，则默认 B 是成立的，并在此默认的前提下进行推理，推导出某个结论。由于这种推理允许在某些默认条件是成立的，这就摆脱了需要知道全部有关事实才能进行推理的束缚，使得推理在知识不完全的情况下进行。在默认推理过程中，如果到某一时刻发现原先所做的默认不正确，则要撤销所做的默认以及就此默认推出的所有结论，重新按新情况进行推理。

2. 推理的控制策略

推理过程不仅依赖于所用的推理方法，同时也依赖于推理的控制策略。控制策略包括推理方向、搜索策略、冲突消解策略等。一般推理的控制策略与知识表达的方法有关，这里以产生式系统为例来介绍推理控制策略。

(1) 推理方向。推理方向用来确定推理的驱动方式，即是数据（证据）驱动或是目标驱动。所谓数据驱动即指推理过程从初始证据开始直到目标结束，而目标驱动则是指推理过程从目标开始进行反向推理，直到出现与初始证据相吻合的结果。按照对推理方向的控制，推理可分为正向推理、反向推理、混合推理及双向推理四种情况。正向推理是一种从已知事实出发、正向使用推理规则的推理方式，它是一种数据（或证据）驱动的推理方式，又称前项链推理或自底向上推理。反向推理是一种以某个假设目标为出发点，反向运用推理规则的推理方式，它是一种目标驱动的推理方式，又称反向链推理或自顶向下推理。混合推理是把正向推理和反向推理结合起来所进行的推理。双向混合推理是指正向推理和反向推理同时进行，使推理过程在中间的某一步骤相汇合而结束的一种推理方法。

(2) 搜索策略。推理时要反复用到知识库中的规则，而知识库中的规则又很多，于是就存在着如何在知识库中寻找可用规则的问题，即如何确定推理路线，使付出的代价尽可能地小，而问题又能得到较好的解决。为了有效地控制规则的选取，可以采用各种搜索策略。常用的搜索策略有状态空间搜索和启发式搜索等。

(3) 冲突解决策略。在推理过程中，系统要不断地将数据库中的事实与知识库中的规则进行匹配，当有一个以上规则的条件部分和当前数据库相匹配时，就需要有一种策略来决定首先使用哪一条规则，这就是冲突解决策略。冲突解决策略实际上就是确定规则的启用顺序的方法。常用的冲突解决策略有 7 种。

① 专一性排序。如果某一规则的条件部分规定的情况比另一规则的条件部分所规定的情况更具体，则这条规则具有较高的优先级。例如，有如下规则。

规则 1：IF A AND B AND C THEN E。

规则 2：IF A AND B AND V AND D THEN E。

数据库中 A、B、C、D 均为真，这是规则 1 和规则 2 都与数据库相匹配，但因为规则 2 条件部分包括了更多的限制，所以具有较高的优先级。本策略优先使用针对性较强的产生式规则。

② 规则排序。如果规则编排顺序就表示了启用的优先级，则称为规则排序。

③ 数据排序。数据排序就是把规则的条件部分的所有条件按照优先级次序编排起来，当发生冲突时，首先使用在条件部分包含了较高优先级的数据的规则。

④ 就近排序。就近排序就是把最近使用的规则放在最优先的位置，如果某一规则经常使用，则倾向于更多地使用这条规则。

⑤ 上下文限制。上下文限制就是把产生式规则按它们所描述的上下文组，在某种上下文条件下，只能从与其相对应的那组规则中选择可用的规则。这样不仅可以减少冲突，而且由于搜索范围小，也提高了推理的效率。

⑥ 按匹配度排序。在不精确匹配中，为了确定两个知识模式是否可以进行匹配，需要计算两个模式的相似程度，当其相似度达到某个预先规定的值时，就认为它们是可匹配的。相似度又称为匹配度，它除了可用来确定两个知识模式是否可匹配外，还可以用于冲突解

除。若有几个规则均可以成功匹配，则可根据它们的匹配度来决定哪一个产生式规则应优先使用。

⑦ 按条件个数排序。如果有多条产生式规则生成的结论相同，则要求条件少的产生式规则优先使用，因为要求条件少的规则匹配时花费的时间较少。

不同的系统，可使用上述这些策略的不同组合，目的是尽量减少冲突的发生，使推理有较快的速度和较高的效率。如何选择冲突解决策略完全由启发性知识决定。

10.1.3 不确定性推理方法

知识库是人工智能系统的核心，而知识库中的知识既有规律性的一般原理，又有大量的不完全的专家经验知识，这样的知识不可避免地带有模糊性、随机性、不可靠或不知道等不确定因素。一般来说，不确定性是来自知识的客观现实和知识的主观认识水平。不确定性是人们思维过程中经常出现的一种心理状态，人们在日常生活中要处理大量的不确定性问题。在运动规律作用下，精确性往往是暂时的、局部的、相对的，而不确定性才是必然的、动态的、永恒的。可见，不确定性是科学认识中的重要规律，而进行不确定性推理的研究则是必然的，不确定性推理也是进行机器智能推理的主要工具之一。

所谓不确定性推理(inexact reasoning)，是指推理中使用前提条件判断是不确定的或者是模糊的情况，因而推理所得出的结论与判断也是不精确的、不确定的或者是模糊的。一般来说，出现不确定性推理的原因和特征有以下几点。

(1) 证据不足或者证据的不确定性。

(2) 规则的不确定性。

(3) 研究方法的不确定性。

由于以上“三性”的存在，决定了推理的最后结果具有不确定但却近乎合理的特性，人们把具有这种性质的推理及其理论和方法总称为不确定性推理。

1. 不确定性问题的代数模型

一个问题的代数模型是由论域、运算和公理组成的。依这种观点，我们希望所引入的各种不确定推理方法应符合某种代数结构，如在某种意义下构成半群(在不确定性值域上，对不确定性度量的合成运算来说，具有封闭性并满足结合律)，甚至反过来把这种结构作为建立一种不确定推理方法的必要条件。以这种观点建立的不确定问题模型必须说明不确定知识的表示、计算和语义解释这三个方面。

表示问题指的是采用什么方法描述不确定性，这是解决不确定推理的关键一步。通常有数值表示和非数值的语义表示方法，两者都不完善。数值表示便于计算、比较；非数值表示是一种定性的描述，以便能较好地解决不确定性问题。

计算问题主要指不确定性的传播和更新，也即获得新的信息的过程。它使在领域专家给出的规则强度和用户给出的原始证据的不确定性的基础上，定义一组函数，以求出结论的不确定性度量。主要包括以下三个方面。

(1) 不确定性的传递算法

① 在每一步推理中，如如何把证据及知识的不确定性传递给结论。

② 在多步推理中，如何把初始证据的不确定性传递给结论。

(2) 结论不确定性的合成

推理中会出现这样一种情况：用不同的知识进行推理，得到相同的结论，但是不确定性的程度却不同。

即已知由两个独立的证据 E_1 和 E_2 求得的假设 H 的不确定性度量 $C_1(H)$ 和 $C_2(H)$，求证据 E_1 和 E_2 的组合导致的假设 H 的不确定性 $C(H)$，即定义函数 f_2，使得

$$C(H) = f_2(C_1(H), C_2(H))$$

(3) 组合证据的不确定性算法

即已知证据 E_1 和 E_2 的不确定性度量 $C(E_1)$ 和 $C(E_2)$，求证据 E_1 和 E_2 的析取和合取的不确定性，即函数 f_3 和 f_4 使得

$$C(E_1 \vee E_2) = f_3(C(E_1), C(E_2))$$

$$C(E_1 \wedge E_2) = f_4(C(E_1), C(E_2))$$

语义问题指上述表示和计算的含义是什么，即对它们进行解释。目前，在 AI 中处理不确定性问题的主要数学工具有概率论和模糊数学。概率论与模糊数学所研究和处理的是两种不同的不确定性。概率论研究和处理随机现象，事件本身有明确的含义，只是由于条件不充分，使得在条件和事件之间无法出现决定性的因果关系，即具有随机性。模糊数学研究和处理模糊现象，概念本身就没有明确的外延，一个对象是否符合和这个概念的难以确定，是模糊的。无论采用什么数学工具和模型，都需要对规则和证据的不确定性给出度量。

对于知识的不确定性度量 $f(H,E)$，需要定义如下 3 个典型情况下的取值。

犹如对 $f(H,E)$ 可理解为当前提 E 为真时对结论 H 为真的一种影响程度，$C(E)$ 可理解为 E 为真的程度。特别关心的 $f(H,E)$ 的值：

(1) E 真则 H 真，这时 $f(H,E)$ 的值；

(2) E 真则 H 假，这时 $f(H,E)$ 的值；

(3) E 对 H 没有影响时 $f(H,E)$ 的值。

对于证据的不确定性度量 $C(E)$，需要定义如下 3 个典型情况下的取值：

(1) E 真时，$C(E)$ 的值；

(2) E 假时，$C(E)$ 的值；

(3) 对 E 一无所知时，$C(E)$ 的值。

2. 不确定推理方法的分类

不确定推理方法可分为形式化方法和非形式化方法。形式化方法有逻辑法、新计算法和新概率法。逻辑法是非数值方法，采用多值逻辑、非单调逻辑来处理不确定性。新概率法不足以描述不确定性，从而出现了 Dempster-Shafer 方法、确定性因子法以及模糊逻辑方法。新概率法试图在传统的概率论框架内，采用新的计算工具以适应不确定性描述。非形式化方法，是指启发式方法，对不确定性没有给出明确的概念。

这种度量法是着眼于语法上的不同，着眼语义上的不同可分为外延式方法和内涵式方法。外延式方法（也称产生式系统）把不确定性看成是一种广义的真值，一个公式的不确定性是由其各子公式的不确定性的计算来确定，其代表是 MYCIN 系统。内涵式方法（也称基于模型的方法）把不确定性看成一种状态或可能世界的子集，其代表是概率论方法，一般采用网络结构来表示。

还一种观点，把处理不确定问题的方法分为工程方法、控制方法和并行确定性法。工程

法是将问题理想化忽略那些不确定因素。控制法是利用控制策略来消除不确定性的影响，如启发式搜索方法。并行确定性法是把不确定性推理分解为两个相对独立的过程：一个过程不计不确定性采用标准逻辑进行推理；另一个过程是对第一个过程的结论加以不确定性度量，前一过程决定信任什么，后一过程决定对它的信任程度。

不确定推理方法是20世纪70年代提出并加以研究的，实际的人工智能系统采用的不确定推理常是不够严谨的，但尚能解决些问题，符合人类专家的直觉，在概率上也可给出某种解释。Shortliffe等人1975年结合MYCIN系统的建立提出了确定性理论；Duda等人1976年结合PROSPECTOR系统给出了主观概率法；Dempster Shafer于1976年提出证据理论；Zadeh于1978年提出了可能性理论，并于1983年提出了模糊逻辑；Bundy于1984年提出了关联值计算；Cohen于1985年讨论一种非数值方法称做批注理论；Nilsson于1986提出概率逻辑；Pearl等人于1986年提出信任网络。

3. 直接使用贝叶斯公式的方法

不妨以医疗诊断为例来说明，设有几种疾病 $B_1, B_2, \cdots, B_n$，而症状为 A，问题是判断在症状 A 下患者得了什么病？其可信任程度如何？这个问题可直接引用贝叶斯公式来求解。

贝叶斯公式：

设有事件 $B_1, B_2, \cdots, B_n$ 互不相容，$B_1 \cup B_2 \cdots \cup B_n = \Omega$（全集），事件 A 能且只能与 $B_1, B_2, \cdots, B_n$ 中的一个同时发生，而且 $P(A)>0, P(B_i)>0, i=1,2,\cdots,n$，则有

$$P(B_i \mid A) = \frac{P(A \mid B_i)P(B_i)}{\sum_{j=1}^{n} P(A \mid B_j)P(B_j)}, \quad i = 1,2,\cdots,n \tag{10-1-1}$$

可以看出，式(10-1-1)将症状 A 出现后患病 B_i 的概率计算转化为了对 $P(A|B_i)$ 和 $P(B_i)$ 的计算。如果将 A 出现下可能患有疾病 B_i 的不确定性度量就视作条件概率 $P(B_i|A)$，则使可以贝叶斯公式进行计算。当某个 k 下，若 $P(B_k|A)$ 明显大，便可认为病症 A 下患者得了 B_k 型疾病，其可信程度即为 $P(B_k|A)$。

这种计算方法直接、明了，然而要求 $B_1, B_2, \cdots, B_n$ 相互无关，这实际上是难于得到保证的，而 $P(A|B_i)$ 和 $P(B_i)$ 的计算也常是有困难的，于是贝叶斯公式的方法还不能直接使用，需另作研究。

10.2 物联网中的人工智能

无所不在的“物联网”通信时代即将来临，世界上所有的物体，从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过物联网主动进行交换。射频识别技术(RFID)、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将到更加广泛的应用。信息化应用于人类社会初级目标锁定在人与人之间的联系和沟通上，这样一个发展目标历经结绳记事、活字印刷、无线电传输及至目前阶段网络时代，已经基本实现。后面信息化会朝什么方向发展呢？众口一词的说法是——物联网。物联网在国际上又称为传感网，它借助于电子信息技术，将物体嵌入微型感应芯片，使其智能化，再结合无线网络技术，使人与物体、物体与物体之间实现“交流对话”。物联网作为信息化应用广度的拓展和深度的挖掘，在我们身边已是比比皆是。

10.2.1 物联网中的人工智能概述和应用

物联网在未来将无处不在。当司机出现操作失误时汽车会自动报警;公文包会提醒主人忘带了什么东西;衣服会“告诉”洗衣机对颜色和水的要求;等等。已如同科幻小说一般,将物品都人格化了,但这是真切的现实,不是科幻了。

如耐克公司最新推出的一款跑步鞋,通过植入传感器跟踪跑步信息,然后发送到使用者的 iPad 上。该产品还有自己的社交网络,可以自动发推至 Twitter,还可以发送状态更新至 Facebook。同样,关于你的一举一动的数据都能被计算机监测到。弗吉尼亚理工大学发明了一种可以感知运动的裤子,通过织布机把电线和纤维织到一起。每动一下,嵌入在纤维里的传感器可以测量裤子的速度、旋转度和弹性。然后把信号发送至计算机上。可以说,在信息世界人与物已平起平坐了,“我们”都变成了一个个信息节点。

上面说到的“人机交互”例子,那么,再让我们看看物联网的一些例子。我国很早就开始了物联网产业的相关研究和应用试点的探索。RFID 是物联网感知层最重要的技术之一。2004 年,我国启动了物联网的重要应用——无线射频识别 RFID 的行业应用试点工程,在农业、工业、城市交通、建筑等领域初见成效。如遍布 30 个试点城市的“一卡通”工程应用等。截至 2009 年 10 月,全国 224 个城市发卡量将近 1.7 亿张!我们每个人都被“网”在这张“卡”联网之中了!

物联网涉及国民经济各行各业、社会与生活各个领域。我们对其存在、发展的“前世今生和来世”有着极其浓厚的兴趣,物联网能改变我们生活的深层次原因不仅仅在于简单地“互联”,还在于其强大的智能化的趋势造就的技术生命力和商业价值。

随着网络技术的突飞猛进,使数据能在传感器、计算机和执行机构之间自由流动。具有革命性意义的是,物品既可以感知环境,又可以相互通信,并迅速对其作出响应,有的甚至可在基本无人干预的情况下工作。这种智能“基因”有赖于人工智能在计算机上的实现,也决定着物联网的“成长特性”。人工智能有 2 种不同的方式:一种是采用传统的编程技术,使系统呈现智能的效果,而不考虑所用方法是否与人或动物机体所用的方法相同,这种方法叫做工程学方法(engineering approach)。另一种是模拟法(modeling approach),它不仅要看效果,还要求实现方法也和人类或生物机体所用的方法相同或相类似。采用前一种方法,需要人工详细规定程序逻辑,在已有的实践众多被采用,商务智能就是典型一例。在这一新型的经济和社会形态中,信息的爆炸式激增又产生了对能够处理和控制信息的新技术的强烈需求;商务智能就是新的信息技术在商务分析中的有效利用。从不同的数据源(就包含物联网的感知信息)收集的数据中提取有用的数据,对数据进行整理以保证数据的质量,将数据经转换、重构后存入数据仓库或数据集市(这时数据变为信息),然后寻找合适的查询、报告和分析工具和数据挖掘工具对信息进行处理(这时信息变为辅助决策的知识),最后将知识呈现于用户面前,转变为决策。

模拟法人工智能应用于物联网的一个方向是专家系统,是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统,不但采用基于规则的推理方法,而且采用了诸如人工神经网络的方法与技术。根据专家系统处理的问题的类型,把专家系统分为解释型、诊断型、调试型、维修型、教育型、预测型、规划型、设计型和控制型等 10 种类型。与物联网相结合的应用就很多了,例如血液凝结疾病诊断系统、电话电缆维护专家系统、花布图案设计和花布印染专家系

统等。另一个方向为模式识别，就是通过计算机用数学技术方法来研究模式的自动处理和判读。用计算机实现模式（文字、声音、人物、物体等）的自动识别，是开发智能机器的一个最关键的突破口，也为人类认识自身智能提供线索。计算机识别的显著特点是速度快、准确性和效率高，其识别过程与人类的学习过程极为相似，可使物联网在"识别端"——信息处理过程的起点就具有智能性，保证物联网上的每个非人类节点也有了"自觉行为"。人工智能支撑物联网使之更开源、更节流、更环保。

物联网以传感器驱动辅助人工智能的新型业务模式能够创造卓越的价值，推动整个人类社会共同繁荣，推动民生，造福于民。那么，在很长一段时间内我们将增进物联网智能性的外在条件上，下足工夫：物联网关键节点就是物联网的公众支撑平台，标准化、规范化的通信模块，以及物联网的网关产品；更多物品中被嵌入传感器，从而获得了通信能力，等等。但我们也应该清楚认识到再智能的物联网也是为人类服务的，需依靠创造新的业务模式来彰显其价值，使得技术的经济性等到社会认同。智能物联网对于公众的贡献不仅要节流，而且能开源，还要环保。

开源——通过物联网将收集的数据作为自动化和控制的基础，利用人工智能的分析转换为可通过网络反馈给执行机构的指令，然后由执行机构来改变流程。形成从数据到自动操作的闭环控制系统，可以提高生产率，因为有了人工智能自动调节的系统，就使许多人工干预不再必要。

节流——当对运营环境中的危险因素持续不断地进行监测，或物品本身可以采取纠正措施，以避免损害发生时，就能降低风险和成本。

环保——应用物联网海量集成技术、细化污染源监控系统全方位架构、强化数字环境管理，将带来环境管理模式的重大转变。

智能物联网的开源、节流和环保往往是三位一体体现的，以各种行业解决方案呈现出来的。例如：在农业生产方面，与遥感卫星和地面传感器收集的数据无线联接的精密农机设备，可以考虑作物的生长条件，并调整农田各个不同部分的种植方式，比如对那些需要更多营养的地块增加施肥量。工业生产方面，通过供应链运送产品时，利用传感器跟踪安放在产品上的 RFID 标签，从而改进库存管理，同时降低运营资金和物流成本。医疗卫生方面，传感器和数据联网提供了以相对较低的成本、实时监测患者行为和症状的可能性，使医生能够更好地诊断疾病，并制定专门的治疗方案。形如药丸的微型摄像机已能穿过人体的消化道，并传回数千幅图像，以查明疾病的来源。社区服务方面，智能楼宇中，具有人员实时管理，能耗数据采集，室内环境舒适度自动控制，数据显示、统计、分析和预警，能耗设备控制等功能，从而实现建筑的节能降耗。

10.2.2 物联网的智能化模型

基于对人工智能技术的认识和研究，依据人工智能模型，推演出了智能物联网智能化模型。智能物联网被分为五个层次，即机器感知交互层、通信层、数据层、智能处理层和人机交互层。

机器感知交互层包括各类传感器、PLC、数据接口，该层主要从设备物品获取数据，它是物联网的基础。

通信层包括设备物品最前段一公里的接入通信和远程传输网络。该层是设备物品之

间、人与物品设备之间、人与人之间进行信息沟通的基础。

数据层包括实时数据库、知识库、模型库、神经网络和历史数据库。实时数据库存放了来自设备物品的状态数据;知识库存放了对某一类问题的判读经验;模型库存放了对一些事件处理抽象化的数学模型;历史数据存放了以往的一些状态或处理结果;人工神经网络,一种模仿神经网络行为特征,进行分布式并行信息处理的算法数学模型。数据层是智能物联网的基础核心,是物联网智能处理层的基础。

智能处理层包括数据查询、数据分析、预测、决策、指令下达、报告生成等智能化的数据处理功能。其中数据分析需要统计模型、神经网络、交叉分析等人工智能工具去进行处理支持。预测需要基于实例的推理(CBR)、统计学模型、神经网络等数据处理手段来支持。决策和指令下达都需要专家系统和约束推理来进行。智能处理层的智能化数据处理程度直接关系到物联网智能化水平的程度。智能处理层的技术状态和对核心技术的掌握关乎物联网智能化发展的进程。

人机交互层包括 Web 监视界面、表格查询、数据更新、控制指令等部分,是由人参与物联网智能化处理,同时监视处理的窗口。完全智能化的处理无须全部在人机交互界面展示,但是必须是可被查询和可跟踪的。人通过人机交互层与物联网的参与者进行交互。

物联网智能是利用人工智能技术服务于物联网络的技术,是将人工智能的理论方法和技术通过具有智能处理功能的软件部署在网络服务器中去,服务于接入物联网的物品设备和人。物联网智能化也要研究解决三个层次的问题:①网络思维,具体讲是网络思维、网络学习、网络诊断等;②网络感知,让网络像人一样能感觉到气味、颜色、触觉;③网络行为,研究网络模拟、延伸和扩展人的智能行为。

将人工智能技术的研究成果应用到物联网中去,将单一机器的智能处理技术应用到物理网的智能处理,是实现物联网的智能化的必经之路,也是物联网技术的核心。物联网智能化的目的是在更广阔的空间范围内,集中、规模化地利用智能化的网络来处理或管理社会的一些基础设施或行业服务,从而达到整个社会管理智能化的目的。

10.3 神经网络

神经网络技术是20世纪末迅速发展起来的一门高新技术。由于神经网络具有良好的非线性映射能力、自学习适应能力和并行处理能力,为解决不确定非线性系统的建模和控制问题提供了一条新的思路,因而吸引了国内外的众多学者和工程技术人员从事神经网络控制的研究,并取得了丰硕的成果,提出了许多成功的理论和方法,使神经网络控制逐步发展成为智能控制的一个重要分支。

10.3.1 神经网络概述

神经网络控制的基本思想就是从仿生学角度来模拟人的神经系统的运作方式,从而使得机器具有人脑那样的感知、学习和推理能力。它将控制系统看成是由输入到输出的一个映射,利用神经网络的学习能力和适应能力实现系统的映射特性,从而完成对系统的建模和控制。它使模型和控制的概念更加一般化。理论上讲,基于神经网络的控制系统具有一定的学习能力,能够更好地适应外部工作环境和系统特性的变化,非常适合于复杂系统的建模

和控制，特别是当系统存在不确定性因素时，就更能体现神经网络方法的优越性。

神经网络在控制领域受到重视主要归功于它的非线性映射能力、自学习适应能力、联想记忆能力、并行信息处理方式及其良好容错性能。应用神经网络时，人们总期望它有非常快的全局收敛特性、大范围的映射能力和较少的实现代价。

非线性控制系统早期的研究是针对一些特殊的、基本的系统而言的，其代表性的理论主要有相平面法、描述函数法、绝对稳定性理论、Lyapunov 稳定性理论、输入输出稳定性理论等。于 20 世纪 80 年代以来，非线性科学越来越受到人们重视，数学中的非线性分析、非线性函数、物理学中的非线性动力学，发展都很迅速。与此同时，非线性系统理论也得到了发展，有更多的控制理论专家转入到非线性系统的研究，更多的工程师力图用非线性系统理论构造控制器，并取得了一定成就。神经网络方法就是主要方法中的一种。

神经网络是一门多个学科领域的边缘交叉学科。人工神经网络独特的结构和处理的方法，使其在许多实际应用领域中取得了显著的成效，能够解决一些传统计算机极难求的问题。

10.3.2 神经网络发展历程

神经网络最早的研究是 20 世纪 40 年代心理学家麦克洛奇(McCulloch)和数学家皮兹(Pitts)合作提出的，他们提出的 MP(麦克洛奇-皮兹)模型拉开了神经网络研究的序幕。神经网络的发展大致经历了 3 个阶段：1947—1969 年为初期，在这期间科学家们提出了许多神经元模型和学习规则，如 MP 模型、赫布(Hebb)学习规则和感知器模型等；1970—1986 年为过渡期，这期间神经网络研究经历了一个低潮，但仍保持继续发展。在此期间，科学家们做了大量的工作，如 Hopfield 教授对网络引入能量函数的概念，给出了网络的稳定性判据，提出了用于联想记忆和优化计算的途径。1985 年，欣顿(Hinton)教授提出玻尔兹曼(Boltzmann)机模型；1986 年鲁梅尔哈特(Rumelhart)等人提出误差反向传播神经网络，简称 BP(back-propagation)网络。目前，BP 网络已成为广泛使用的网络。

1987 年至今为发展期，在此期间，神经网络受到国际重视，各个国家都展开研究，形成神经网络发展的另一个高潮。多数研究集中在网络结构、学习算法和实际应用三个反面。例如对静态网络，提出了许多网络模型，如 BP 网络、正交函数网络、径向基函数 RBF 网络、样条函数网络、子波函数网络等模型。从应用角度看，它们各有千秋。BP 网络有很强的生物背景，虽与函数逼近理论稍有差异，但是其卓越的输入输出映射特性在多变量函数逼近方面具有很强的优势。BP 网络是目前应用最为广泛的一种网络模型，在理论上它是一种全局网络，要求使用全局信息，但由于受到算法的限制，实际上只能得到局部解。径向基函数 RBF 网络既有生物背景，又与函数逼近理论相吻合，同样也使用于多变量函数逼近，只要中心选择得当，即可获得最优解。当然，其中的难点和关键也正是中心点集的选取。正交多项式函数网络有比较完整的理论基础，但用于多变量函数逼近网络神经元个数膨胀较快。样条函数网络在学习时只需要局部信息，因而在学习算法的并行性、收敛速度等方面有一定的优势，但其定义域中对子局域网的划分非常复杂，因而增加了使用的难度。此外，实时控制要求网络结构简单，计算收敛快。在这一点上动态网络的优势较大。比较典型的动态网络有 Hopfield 网络、ART 网络和动态递归网络等。动态网络虽然只是单层神经元网络，但由于其内部的反馈作用，可望用较小网络结构来实现系统的复杂行为，所以比较适合非线性动

态系统的辨识与控制。

在应用神经网络时,人们总期望它有非常快的全局特性、大范围的映射泛化能力和较小的实现代价。然而,目前神经网络的并行计算能力都是通过计算机虚拟实现的。大多数情况下仍是一种串行工作模式(相对实时控制任务)。因此,在解决上述问题方面,由于受到当前硬件发展的限制,人们仍将主要精力集中在神经网络结构和快速学习算法的研究上。

人工神经网络也具有初步的自适应与自组织能力。在学习或训练过程中改变突触权重值,以适应周围环境的要求。同一网络因学习方式及内容不同可能具有不同的功能。人工神经网络是一个具有学习能力的系统,可以发展知识,以致超过设计者原有的知识水平。通常,它的学习训练方式可分为两种:一种是有监督或称有导师的学习,利用给定的样本标准进行分类或模仿;另一种是无监督学习或称无为导师学习,只规定学习方式或某些规则,则具体的学习内容随系统所处环境(即输入信号情况)而异,系统可以自动发现环境特征和规律性,所以说它具有更近似人脑的功能。

尽管近几年来,神经网络理论及应用研究都取得了可喜的进展,但应看到,人们对生物神经系统研究与了解还很不够,提出的神经网络模型,无论从结构还是规模上,都是对真实网络的一种简化和近似。神经网络的理论仍具有许多缺陷,尚待进一步发展与完善,因此,要使神经网络走出试验室,真正用于工程试验中,在诸多领域还有许多工作要做。

10.3.3 神经网络的研究内容

神经网络的研究内容相当广泛,反映了多学科交叉技术领域的特点。目前,主要的研究工作集中在以下几个方面。

1. 生物原型研究

从生理学、心理学、解剖学、脑科学、病理学等生物科学方面研究神经细胞、神经网络、神经系统的生物原型结构及其功能机理。

2. 建立理论模型

根据生物原型的研究,建立神经元、神经网络的理论模型。其中包括概念模型、知识模型、物理化学模型、数学模型等。

3. 网络模型与算法研究

在理论模型研究的基础上构作具体的神经网络模型,以实现计算机模拟或准备制作硬件,包括网络学习算法的研究。这方面的工作也称为技术模型研究。

神经网络用到的算法就是向量乘法,并且广泛采用符号函数及其各种逼近。并行、容错、可以硬件实现以及自我学习特性,是神经网络的几个基本优点,也是神经网络计算方法与传统方法的区别所在。

4. 人工神经网络应用系统

在网络模型与算法研究的基础上,利用人工神经网络组成实际的应用系统,例如,完成某种信号处理或模式识别的功能、构作专家系统、制成机器人等。

纵观当代新兴科学技术的发展历史,人类在探索宇宙空间、基本粒子,生命起源等科学技术领域的进程中历经了崎岖不平的道路。我们也会看到,探索人脑功能和神经网络的研究将伴随着重重困难的克服而日新月异。

10.3.4 神经网络的结构

1. 神经元模型

神经元是神经网络操作的基本信息处理单位。它是神经网络的设计基础。在这里给出神经元模型的三种基本元素。

(1) 突触或连接链。每一个都由其权值或者强度作为特征,具体的,在连到神经元 k 的突触 j 上的输入信号 x_j 被乘以 k 的突触权重 w_{kj}。注意突触权值 w_{kj} 的下标的写法很重要。第一个下标指查询神经元,第二个下标指权值所在的突触的输入端。和人脑的突触不一样,人工神经元的突触权值有一个范围,可以取正值也可以取负值。

(2) 加法器。用于求输入信号被神经元的相应突触加权的和。这个操作构成一个线性组合器。

(3) 激活函数,用来限制神经元输出振幅。激活函数也称为压制函数,因为它将输出信号压制到允许范围之内的某个定值。通常,一个神经元输出的正常幅度范围可写成单位闭区间[0,1]或者另一种区间[−1,1]。

图 10-3-1 所示的神经元模型也包括一个外部偏置,记为 b_k。偏置的作用是根据其为正或负,相应地增加或减少激活函数的网络输入。

用数学术语,可以用如下两个方程描述一个神经元 k:

$$u_k = \sum_{j=1}^{m} w_{kj} x_j \tag{10-3-1}$$

$$y_k = f(u_k + b_k) \tag{10-3-2}$$

其中,$x_1, x_2, \cdots, x_m$ 是输入信号;$w_{k1}, w_{k2}, \cdots, w_{km}$ 是神经元 k 的突触权值;u_k 是输入信号的线性组合器的输出,偏置为 b_k,激活函数 $f()$,y_k 是神经元输出信号。偏置 b_k 的作用是对图 10-3-1 所示模型中的线性组合器的输出 u_k 做仿射变换。如下式所示:

$$v_k = u_k + b_k \tag{10-3-3}$$

具体地,根据偏置 b_k 取正或取负,神经元 k 的诱导局部域或激活电位 v_k 和组合线性组器输出 u_k 的关系如图 10-3-2 所示。应注意,由于这个仿射变换的作用,v_k 与 u_k 的图形不经过原点。

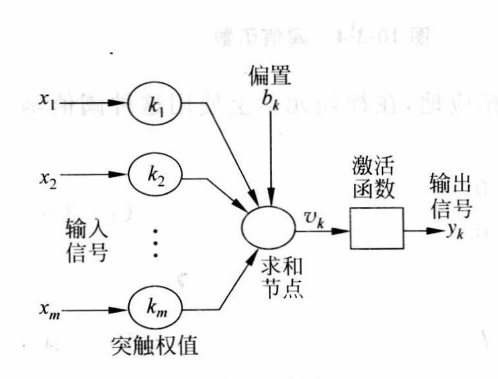


图 10-3-1 神经元的非线性模型

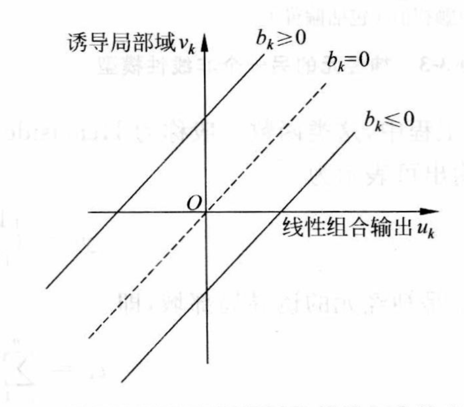


图 10-3-2 神经元的诱导局部域和线性组合输出的关系

偏置 b_k 是人工神经元 k 的外部参数，可以根据在方程(10-3-1)和式(10-3-3)得到如下公式：

$$v_k = \sum_{j=0}^{m} w_{kj} x_j \tag{10-3-4}$$

$$y_k = \varphi(v_k) \tag{10-3-5}$$

在式(10-3-4)中，加上一个新的突触，其输入为

$$x_0 = 1 \tag{10-3-6}$$

权值为

$$w_{k0} = b_k \tag{10-3-7}$$

因此得到神经元 k 的新型模型如图 10-3-3 所示，在这个模型中，偏置的作用是做两件事情：①添加新的固定的输入 1；②添加新的关于偏置 b_k 的突触权值，虽然在形式上图 10-3-1 和图 10-3-3 所示的模型不同，但是在数学上它们是等价的。

2. 激活函数类型

激活函数，记为 $\varphi(v)$，通过诱导局部域 v 定义神经元输出。这里给出三种基本的激活函数。

(1) 阈值函数

这类激活函数如图 10-3-4 所示，可写为

$$f(v) = \begin{cases} 1, & v \geqslant 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases} \tag{10-3-8}$$

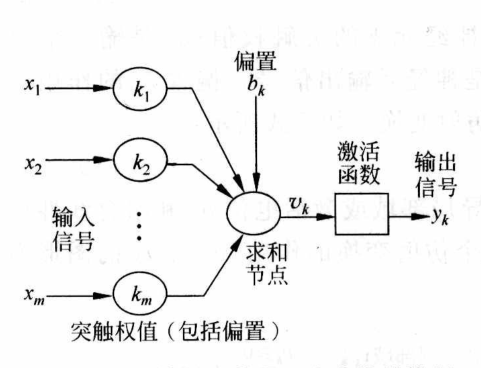


图 10-3-3　神经元的另一个非线性模型

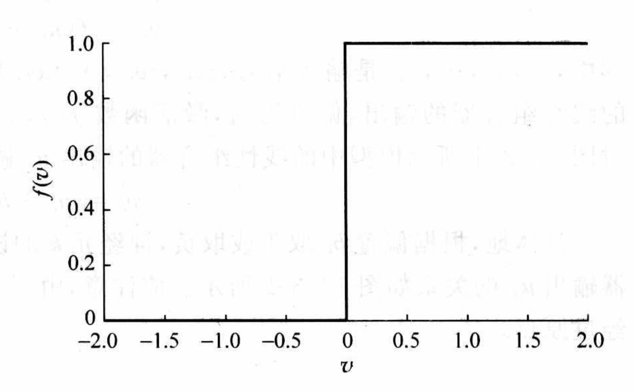


图 10-3-4　阈值函数

在工程中，这类函数一般称为 Heaviside 函数。相应地，在神经元 k 上使用这种阈值函数，其输出可表示为

$$y_k = \begin{cases} 1, & v \geqslant 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases} \tag{10-3-9}$$

其中，v_k 是神经元的诱导局部域，即

$$v_k = \sum_{j=1}^{m} w_{kj} x_j + b_k \tag{10-3-10}$$

(2) 分段线性函数

分段线性函数如图 10-3-5 所示，有

$$f(v)=\begin{cases}1, & v\geqslant 1/2\\ v, & 1/2>v>-1/2\\ 0, & v\leqslant -1/2\end{cases} \tag{10-3-11}$$

其中,在运算的线性区域内放大因子置为 1。这种形式的激活是对非线性放大器的近似。

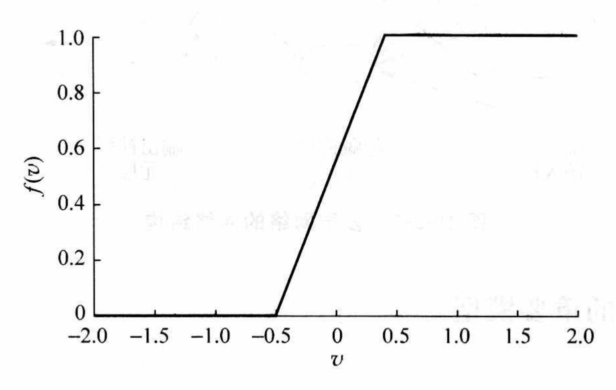


图 10-3-5 分段线性函数

(3) Sigmoid 函数

此函数的图形是 S 形的,在构造人工神经网络中最常用的激活函数。它是严格的递增函数,在线性和非线性行为之间显现出较好的平衡。它的一个例子是 Logistic 函数,定义如下:

$$f(v)=\frac{1}{1+\exp(-av)} \tag{10-3-12}$$

该函数图像如图 10-3-6 所示。

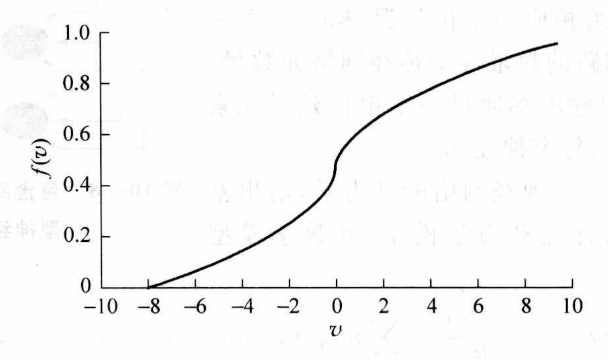


图 10-3-6 sigmoid 函数

其中,a 是 Sigmoid 函数的倾斜参数。改变参数 a 就可以改变倾斜程度。Sigmoid 函数是可微的,而阈值函数是不可微的。

3. 神经网络的网络结构

下面简单介绍一下多层网络的网络结构。如图 10-3-7 所示,输入层的源节点提供激活模式的元素,组成第二层神经元的输入信号。第二层的输出信号作为第三层输入,这样一直传递下去。通常,每一层的输入都是上一层的输出,最后的输出层给出相对于源节点的激活模式的网络输出。

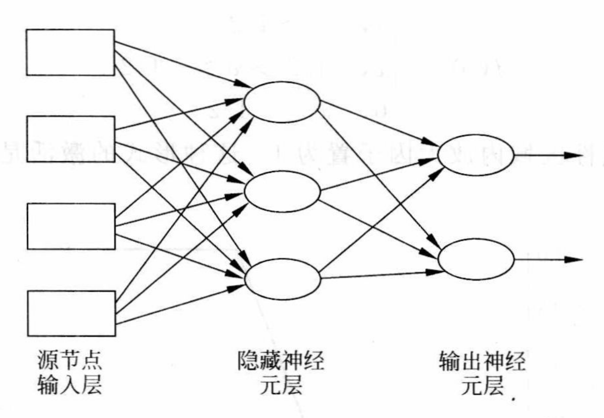


图 10-3-7　多层网络的网络结构

10.3.5　神经网络的重要模型

1. Hopfield 模型

在 20 世纪 80 年代初期，神经网络研究重新兴起，这在很大程度上归功于美国生物物理学家 Hopfield 的工作，他提出了以他名字命名的 Hopfield 型神经网络。由于 Hopfield 不仅是一个著名的物理学家，在生物学上也有着丰富的经验，所以他提出的 Hopfield 型神经网络不仅在实现上，在应用上也都体现了实践的精神，这同时也鼓舞了很多物理学家以及其他科学家和工程师开始注意对神经网络的研究，这对神经网络的发展的推动作用是举足轻重的。如图 10-3-8 所示，Hopfield 型神经网络仅包含一组神经元和一组相应的单位延迟，构成一个多回路反馈系统，反馈回路的数量等于神经网络元数量。基本上，每个神经元的输出都通过一个单位延迟元素被反馈到网络中另外的每个神经元。

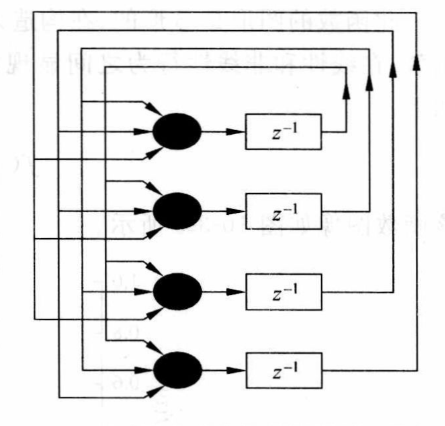


图 10-3-8　包含四个神经元的 Hopfield 型神经网络结构图

为了研究 Hopfield 型神经网络的动力学，给出基于神经元加型模型的神经动力学模型，其数学模型如下：

$$C_j \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} v_j(t) = -\frac{v_j(t)}{R_j} + \sum_{i=1}^{N} w_{ji}\varphi_i(v_i(t)) + I_j, \quad j = 1,2,\cdots,N \qquad (10\text{-}3\text{-}13)$$

为了继续讨论，做以下假定。

(1) 突触权值矩阵是对称的，表示为

$$w_{ji} = w_{ij}, \quad 对所有的\ i\ 和\ j \qquad (10\text{-}3\text{-}14)$$

(2) 每个神经元有它自己的非线性激活函数，因此在式(10-3-13)中使用 $\varphi_i(\cdot)$。

(3) 非线性激活函数 φ 可逆，即

$$v = \varphi_i^{-1}(x) \qquad (10\text{-}3\text{-}15)$$

令 Sigmoid 函数 $\varphi_i(v)$ 由双曲线正切函数

$$x = \varphi_i(v) = \tan\left(\frac{a_i v}{2}\right) = \frac{1-\exp(-a_i v)}{1+\exp(-a_i v)} \tag{10-3-16}$$

定义，在原点处有 $a_i/2$ 的斜率，表示为

$$\frac{a_i}{2} = \frac{\mathrm{d}\varphi_i}{\mathrm{d}v}\bigg|_{v=0} \tag{10-3-17}$$

把 a_i 称为神经元 i 的增益。

此时，式(10-3-15)的具体关系可以写为

$$v = \varphi_i^{-1}(x) = -\frac{1}{a_i}\ln\left(\frac{1-x}{1+x}\right) \tag{10-3-18}$$

一个单位增益神经元的逆输出-输入关系的标准形式定义为

$$\varphi^{-1}(x) = -\ln\left(\frac{1-x}{1+x}\right) \tag{10-3-19}$$

按照这一标准关系可以把式(10-3-18)改写为

$$\varphi_i^{-1}(x) = \frac{1}{a_i}\varphi^{-1}(x) \tag{10-3-20}$$

图 10-3-9(a)所示为标准 Sigmoid 的非线性函数 $\varphi(v)$ 的曲线，图 10-3-9(b)所示为相应的非线性反函数 $\varphi^{-1}(x)$ 的曲线。

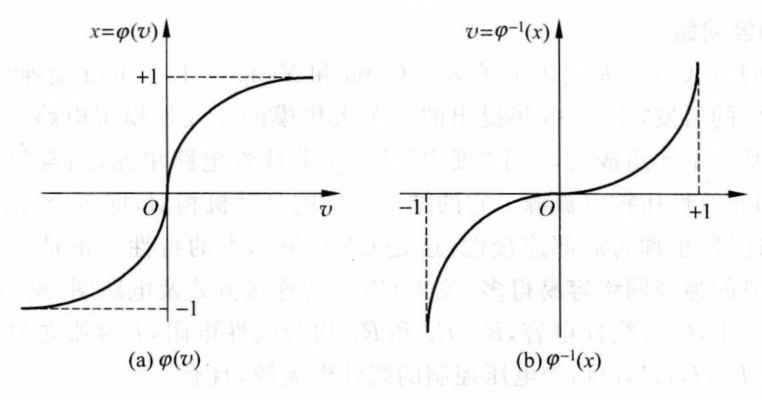


图 10-3-9 Sigmoid 非线性函数

图 10-3-8 所示的 Hopfield 型神经网络模型的能量(Lyapunov)函数定义为

$$E = -\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} w_{ji}x_i x_j + \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{R_j}\int_0^{x_j}\varphi_j^{-1}(x)\mathrm{d}x - \sum_{i=1}^{N} I_j x_j \tag{10-3-21}$$

由(10-3-21)定义的能量函数 E 为可能具有很多极小点的复杂图形，网络的动力学由寻找那些极小点的机制描述。

因此，求 E 对时间的微分，得到

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t} = -\sum_{j=1}^{N}\left(\sum_{i=1}^{N} w_{ji}x_i - \frac{v_j}{R_j} + I_j\right)\frac{\mathrm{d}x_j}{\mathrm{d}t} \tag{10-3-22}$$

由于神经动力学方程(10-3-21)所具有的特点，式(10-3-22)右端圆括号内的值被认为是 $C_j\frac{\mathrm{d}v_j}{\mathrm{d}t}$，于是可以把式(10-3-21)简化为

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t} = -\sum_{j=1}^{N} C_j\left(\frac{\mathrm{d}v_j}{\mathrm{d}t}\right)\frac{\mathrm{d}x_j}{\mathrm{d}t} \tag{10-3-23}$$

现在考虑由 x_j 定义的 v_j 的关系，将式(10-3-15)代入式(10-3-23)，得到

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t}=-\sum_{j=1}^{N}C_j\left[\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\varphi_j^{-1}(x_j)\right]\frac{\mathrm{d}x_j}{\mathrm{d}t}=-\sum_{i=1}^{N}C_j\left(\frac{\mathrm{d}x_j}{\mathrm{d}t}\right)^2\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\varphi_j^{-1}(x_j) \quad (10\text{-}3\text{-}24)$$

从图 10-3-9(b)中可以看出逆输出输入关系 $\varphi_j^{-1}(x_j)$对输入 x_j 是单调增函数，因此它满足

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\varphi_j^{-1}(x_j)\geqslant 0,\quad \text{对所有的 } x_j \quad (10\text{-}3\text{-}25)$$

应注意到

$$\left(\frac{\mathrm{d}x_j}{\mathrm{d}t}\right)^2\geqslant 0,\quad \text{对所有的 } x_j \quad (10\text{-}3\text{-}26)$$

因此，所有在式(10-3-24)右端求和的因子都是非负的，换句话说，对(10-3-21)定义的能量函数 E 来说，有$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t}\leqslant 0$，由式(10-3-21)的定义看出函数 E 是有界的。因此，可以做出以下两个陈述：

(1) 能量函数 E 是连续 Hopfield 模型的 Laypunov 函数；

(2) 根据 Laypunov 定理模型是稳定的。

所以 Hopfield 模型神经网络(Laypunov)能量函数 E 是时间的单调递减函数，是全局渐近稳定的；吸引子固定点是能量函数的极小值。

2. 细胞神经网络

细胞神经网络(CNN)是美国电子学家 Chua 和 Yang 受 Hopfield 型神经网络的直接影响和细胞自动机的启发，于 1988 年提出的一个大规模的非线性模拟电路。CNN 是由很多成为“细胞”的基本单元组成的，一个“细胞”是一个非线性电路单元，通常包含线性电容、线性电阻、线性和非线性压控电流源。它的结构与细胞自动机相似，即每个“细胞”只与它生物临近“细胞”有连接，也称为局部连接性，这是 CNN 最基本的特性。正是由于这一特性，其硬件实现比一般的神经网络容易得多，关于 CNN 的连接方式及电路图，见图 10-3-10。

图 10-3-10 中，C 为线性电容，R_x、R_u 和 R_v 均为线性电阻，I 为独立的外部输入电流；$I_{xu}(i,j;k,l)$和 $I_{xy}(i,j;k,l)$均为电压控制的线性电流源，且有

$$I_{xu}(i,j;k,l)=A(i,j;k,l)v_{y_{kl}},\quad I_{xy}(i,j;k,l)=B(i,j;k,l)v_{u_{kl}}$$

$$I_{yx}=\frac{1}{R_y}f(v_{x_{ij}})$$

f 为分段线性函数，且有 $f(x)=\frac{1}{2}(|x+1|-|x-1|)$，$E_{ij}$ 为独立的电压源。因此，CNN 的状态方程为数学模型

$$C\frac{\mathrm{d}v_{x_{ij}}(t)}{\mathrm{d}t}=-\frac{1}{R_x}v_{x_{ij}}(t)+\sum_{C(k,l)\in N(i,j)}A(i,j;k,l)v_{y_{kl}}(t)$$
$$+\sum_{C(k,l)\in N(i,j)}B(i,j;k,l)v_{u_{kl}}(t)+I(t),\quad 1\leqslant i\leqslant M,1\leqslant j\leqslant N$$
$$(10\text{-}3\text{-}27)$$

输出方程

$$v_{x_{ij}}=\frac{1}{2}(|v_{x_{ij}}+1|-|v_{x_{ij}}-1|),\quad 1\leqslant i\leqslant M,1\leqslant j\leqslant N$$

输入方程

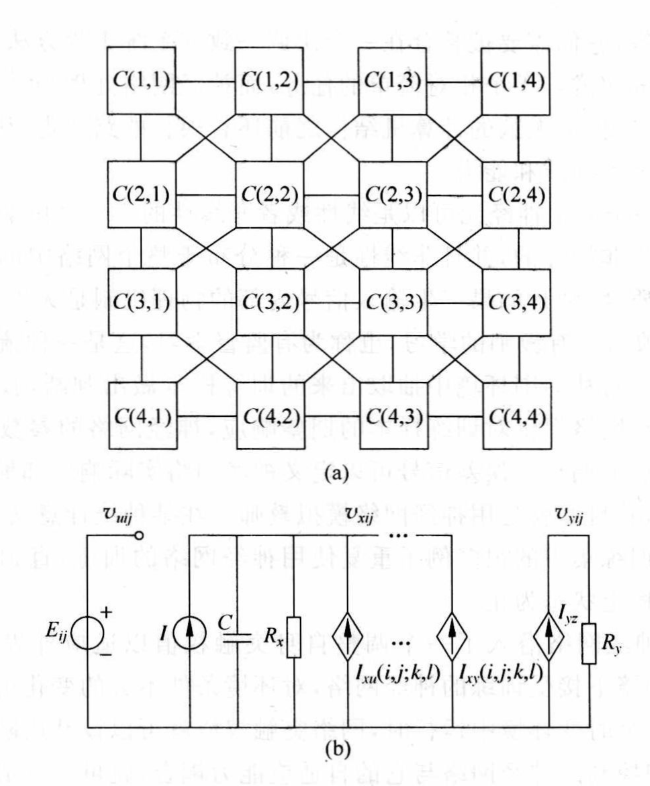


图 10-3-10 CNN 的连接方式及电路图

$$v_{x_{ij}} = E_{ij}, \quad |E_{ij}| \leqslant 1, \quad 1 \leqslant i \leqslant M, 1 \leqslant j \leqslant N$$

约束条件

$$|v_{x_{ij}}(0)| \leqslant 1, \quad |v_{u_{ij}}| \leqslant 1, \quad 1 \leqslant i \leqslant M, 1 \leqslant j \leqslant N$$

且假定

$$A(i,j;k,l) = A(k,l;i,j), \quad C > 0, R_x > 0$$

事实上，具有时滞的细胞神经网络（DCNN）更为常见，对（10-3-27）引入时滞后的模型为

$$\begin{aligned}
C\frac{\mathrm{d}v_{x_{ij}}(t)}{\mathrm{d}t} = &-\frac{1}{R_x}v_{x_{ij}}(t) + \sum_{C(k,l)\in N_r(i,j)} A(i,j;k,l)v_{y_{kl}}(t) \\
&+ \sum_{C(k,l)\in N_r(i,j)} A^{\tau}(i,j;k,l)v_{y_{kl}}(t-\tau) + \sum_{C(k,l)\in N_r(i,j)} B(i,j;k,l)v_{u_{kl}}(t) \\
&+ \sum_{C(k,l)\in N_r(i,j)} B^{\tau}(i,j;k,l)v_{u_{kl}}(t-\tau) + I_{ij}(t)
\end{aligned} \tag{10-3-28}$$

在实际讨论中，相当一部分结果可以取消约束条件及参数矩阵对称的假定，使得 CNN 模型显得简洁，在数学上便于分析。

10.3.6 神经网络的优点

神经网络的计算能力有以下两点：大规模并行分布结构；神经网络学习能力以及由此而来的泛化能力。泛化是指神经网络对不在训练集中的数据可以产生合理的输出。这两种信息处理能力让神经网络可以解决一些当前还不能处理的复杂问题。但在实践中，神经网

络不能单独做出解答，它们需要被整合在一个协调一致的系统工程方法中。具体地讲，一个复杂的问题往往被分解成若干个相对简单的任务，而神经网络处理与其能力相符的子任务。但是，在建立一个可以模拟人脑的计算机结构之前还有很长的路要走，认识这一点很重要。

神经网络具有下列性质和能力。

(1) 非线性。一个人工神经元可以是线性或者非线性的。一个由非线性神经元互联而成的神经网络自身是非线性的，并且非线性是一种分布于整个网络中的特殊性质。非线性是一个很重要的性质，特别是如果产生输入信号内部的物理机制是天生非线性的。

(2) 输入输出映射。有教师的学习，也称为有监督学习，这是一种流行的学习范例。教师和神经网络同时要对从周围环境中抽取出来的训练样本做出判断，教师可以根据自身掌握的一些知识为神经网络提供对训练样本的期望响应，神经网络的参数可以在训练向量和误差信号的综合影响下调整。误差信号可以定义神经网络实际响应和期望响应之差。这种调整可以反复进行，其目的就是用神经网络模拟教师。在某种统计意义下，可以认为这种模拟是最优的。使用训练集中的很多例子重复使用神经网络的训练，直到网络达到没有显著的突触权值修正的稳定状态为止。

(3) 适应性。神经网络潜入了一个调整自身突触权值以适应外界变化的能力。特别是，一个特定运行环境下接受训练的神经网络，对环境条件不大的变化可以容易进行重复训练。而且，当它在一个时变环境中运行时，网络突触权值就可以设计成随时间变化。用于模式识别、信号处理和控制的神经网络与它的自适应能力耦合，就可以变成能力进行自适应模式识别、自适应信号处理和自适应控制的有效工具。作为一般规则，在保证系统保持稳定时一个系统的自适应性越好，当要求在一个时变环境下运行时它的性能就越有健壮性。

(4) 证据响应。在模式识别问题中，神经网络可以设计成既能提供不限于选择哪一个特定模式的信息，也提供决策的置信度的信息。后者可以用来据判那些出现得过于模糊的模式。

(5) 背景信息。神经网络的特定结构和激发状态代表知识。网络中每一个神经元都潜在地受到网络中其他所有神经元全局活动的影响。因此，背景信息自然由一个神经网络处理。

(6) 错容性。一个以硬件形式实现后的神经网络有天生容错的潜质，或者健壮计算的能力，意即它的性能在不利条件下逐渐下降。

(7) 分析和设计的一致性。基本上，神经网络作为信息处理器具有通用性。这样隐含的是，即涉及神经网络应用的所有领域都使用同样的记号。这种特征以不同的方式表现出来。神经元，不管其形式如何，在所有的神经网络中都代表一个相同的部分，这种共性使得在不同应用中的神经网络共享相同的理论和学习算法成为可能。

10.4 物联网中的神经网络

物联网作为新兴的网络，其应用领域很广，其中一个领域就是为实现供应链中物品自动化的跟踪和追溯提供基础平台。但是物联网的关键不在“物”，而在“网”。它实际上指的是在网络的范围之内，可以实现人对人，人对物以及物对物的互联互通。在方式上可以是点对点，也可以是点对面或面对点，它们经由互联网，通过适当的平台，可以获取相应的资讯或指

令，或者传递相应的资讯或指令。物联网的精髓不仅仅是对物实现连接和操控，它还通过技术手段的扩张，赋予网络新的含义，实现人与物、物与物之间的相融与互动，甚至是交流和沟通。神经网络作为物联网中一部分，在识别和判断中起着非常重要的作用，它是智能科学和计算智能的重要部分，以脑科学和认知神经科学的研究成果为基础，拓展智能信息处理，为解决复杂问题和实现自动控制提供有效的途径。

10.4.1 物联网中的路由选择

1. 概述

随着物联网的快速发展，多种异构无线网络的部署越来越普及，装备多个网络接口卡的移动终端也越来越多，持有这些设备的用户或者装有这些设备的物体希望能随时随地地同时利用对各接口快速接入互联网，并且保证在移动时能够保证其业务连接不中断。物联网的层级结构和OSI模型类似，在物联网的网络层中，主要功能就是把数据分组入选源节点传送到目标节点，所以为传送的数据分组选择合适的路由就是网络层要解决的关键问题。在电信中，有静态路由选择和动态路由选择，静态方法简单、可靠，但不能反映实时业务，不能适应变化的网络情况；动态路由方法，不断测量网络状态并且不断计算，提供了灵活性和有效性。它有两类基本动态路由方法，即时间依赖法和状态依赖法。时间依赖法针对每天不同的业务量不一样的事实，事先编出时间段区分的路由表，本质上是根据过去的业务分布安排好的顺序。状态依赖法根据网络当前状态决定选择哪条路由，它可避开业务量大的链路，对于事先未能规划的业务变化有较好的适应性。但它需要较大的管理开销来交换信息，以便更有效地优化网络资源的适应，这样可以分为孤立的、集中的和分布的三种，具体取决于当今网络状态的信息是如何获得的。最典型的分布法就是神经网络路由选择算法。

在这种路由选择中，每有一个呼叫，在没有直达路由时，它选择现有迂回路由及其负荷条件，最小负荷路由被选择，负荷溢出级有六等：轻负荷 LL1，LL2，LL3，重负荷 HL，保留 TR 和忙。每当“捕获”或“释放”一条链路上的中继线时，都要计算一次负荷条件，如果链路上的中继线数超过某一门限，则认为是轻负荷。选择时，始发节点发消息给目的节点，要求发回目的节点认为具有轻负荷的节点，始发节点和目的节点均被认为是轻负荷的链路将被选中，其选中原则是迂回路由中两链路的负荷情况。

分步法实时和动态性好，减少了操作成本，降低了阻塞速度，提高了接通率，不过，由于信令信息交互多，增加了网络负荷，并且在物联网中，要求达到物物相联和相通，增加了海量的信息，大大增加了路由的选择的复杂度和难度。总的来看，随着神经网络不断的发展和改进，基于神经网络的分布法路由选择将具有很大的优势：它不需要另外的设备，路由是在交换中实时计算，使得网络节点均有处理能力并且将业务负荷移到网络中有能力的地方。这源于分布法的“分布”特性，然而它的自适应性和宏观把握能力不足，缺乏“智能”，导致其系统性和全局能力依然较弱。

2. 路由协议设计考虑因素

由于物联网是由大量受限制设备构成，所谓选择和设计物联网路由算法时，必须综合考虑物联网普遍具有以下特征：(1)大量具有有限资源和能量、运算能力、存储空间、通信距离的物联网节点以预定义的或者随机散布的方式存在；(2)基于物联网节点在应用中会以随机散布和高密度存在的情况，所以通常不对其进行统一 IP 编址，同时相关协议能支持节点

自组织形成长效的网络结构：(3)相关协议支持物联网节点间自动协作和交换控制信息，物联网节点不具备人机控制界面，这也是区别于其他路由协议。

针对上述物联网所具有的特征。我们的设计为应对上述情况需要解决如下问题：(1)网络中节点如何进行动态的检测，以及时筛选有效的节点。(2)网络中节点如何获得识别身份。这种 ID 不是简单的身份标识，而将成为树形算法的重要部分。(3)节点间的路由关系如何建立。就是要用一种低功耗的算法，避免将大量的资源用于建立路由链路上。(4)网络节点的拓扑变化后，路由如何重建。这个过程将伴随有节点 ID 的重建。(5)节点间传送的消息格式，以及数据传输中路由分析方式。

3. 目前的路由算法

(1) 基于优先级的 PMRP(priority based multi-path routing protocol)多路径路由算法。

其原理是在源节点和 Sink 节点间发现多个路径，并根据链路质量、剩余能量、跳数限制以及通信代价等参数对路径优先级排序，从中选择优先级最高的最优当前路径。

定义 10.1 Sink 节点的邻节点。在 Sink 节点的通信范围内，能和 Sink 节点直接单跳通信的节点。

源节点要将感知数据上报给 Sink 节点，总要经过 Sink 节点的邻节点。对于某一网络拓扑结构，Sink 节点的邻节点可能有多个，这些节点和 Sink 节点之间通信代价各异。

定义 10.2 链路质量。链路上成功传输的数据包与总发送数据包的比例，用 link_reliability 表示。

链路质量是影响网络总能耗、能耗均衡性和传输可靠性的重要因素。在低质量链路上传输数据会增加重传能耗，低质量链路也会导致最短路径效率的降低。对室内环境、野外环境及空旷区域的链路质量测试表明：链路质量受电磁环境影响，有较强的时变型和不对称性。

对所有链路进行定时或定时估计的代价较大，只需对重要链路(如关节点、Sink 节点的相邻节点所在链路)进行实时估计，减少用于链路估计的控制报文开销。为了在链路质量的实时估计和定时估计之间折中，可以采用窗口平均的指数加权滑动平均模型 WMEWMA(t,a)，计算周期 t 内平均链路质量，并且 $a\in[0,1]$，平滑前一个时窗的链路质量。据此，链路质量估计为

$$\hat{Q}_{k+1}=a\hat{Q}_k+(1-a)\frac{\text{received}}{\text{received}+\text{failed}} \tag{10-4-1}$$

式中，$\hat{Q}_{k+1}$，$\hat{Q}_k$ 分别为 k 和 $k+1$ 时刻链路质量估计；received 为单位时间内接收节点收到的来自发送节点的数据包数；failed 为丢失的数据包数。调节 t 和 a 的值，可产生不同的估计效果：采用较大的 t 与 a，得到稳定估计；采用较小的 t 与 a，得到灵敏估计。

本算法链路质量估计方法：Sink 节点的邻节点在向 Sink 节点转发感知数据时，还发送用于链路质量估计的报文。Sink 节点根据式(10-4-1)估计与自己相邻节点的链路质量，避免对每条路径上的所有链路质量估计，以降低报文开销。

(2) 基于动态负载均衡树的 DLBTP(dynamic load balanced tree protocol)路由算法

DLBTP 路由算法在初始 BF 树基础上，利用负载均衡度的概念，通过嫁接与局部调整树结构的方式构建负载均衡树。这样既可提高路由的负载均衡性，又兼顾了路由过程能耗



最小性，且与 BFS 树及最小生成树相比，计算复杂度无明显增加。

基于负载均衡树的 DLBTP 路由算法以负载均衡树建立与维护为核心，分为初始化、负载均衡树建立、稳定传输和负载均衡树维护 4 个阶段。

初始化阶段：根据网络连通性，生成以 Sink 节点为根的初始 BFS 树。

负载均衡树建立阶段：先对初始 BFS 树进行嫁接，再根据负载均衡度，调整部分节点与其父节点或子节点的关系，对负载均衡树局部调整。

稳定传输阶段：节点通过负载均衡树向 Sink 节点发送感知数据，并估计各簇头剩余能量。

负载均衡树维护阶段：当有节点因能耗过大而死亡时，网络连通性发生变化。返回初始化阶段，根据某个节点死亡后的网络拓扑，重新产生初始 BFS 树。

定义 10.3 叶节点：只发送自身感知数据，无后代的节点。

定义 10.4 非叶节点：既发送自身感知数据，又需转发后代节点感知数据，有后代的节点。

根据多跳路由的流量特点，子节点多的非叶节点需转发的数据包多；反之则少，特别是叶节点，由于无子簇头，只需发送自身感知数据。

定义 10.5 子树路由代价(sub tree cost，STC)：以 Sink 节点的邻节点为根的第 i 棵子树中，每个节点完成一次向 Sink 节点发送长度为 l 感知数据的能耗，用 STC(i)表示。

定义 10.6 负载均衡度(load balance degree，LBD)：每个子树路由代价和的平方与路由代价平方和的 k 倍(k 为子树目或 Sink 节点与邻节点数目)之比，用 LBD 表示，其表达式为

$$\mathrm{LBD}=\frac{\left[\sum_{i=1}^{k}\mathrm{STC}(i)\right]^2}{k\sum_{i=1}^{k}\mathrm{STC}(i)^2} \tag{10-4-2}$$

负载均衡度的定义来源于切比雪夫不等式，对于实数域上的序列 $a=\{a_1,a_2,\cdots,a_k\}$，有 $k\sum_{i=1}^{k}a_i^2\geqslant\left(\sum_{i=1}^{k}a_i\right)^2$，当且仅当 $a_1=a_2=\cdots=a_k$ 时，等式成立。对于式(10-4-2)，当且仅当 STC(1)＝STC(2)＝…＝STC(k)时。即当每棵子树路由代价均相等时，负载均衡度为 1，否则小于 1。

10.4.2 物联网中的神经计算机

1. 神经计算机的体系结构

神经网络的研究取得了令人瞩目的进展，在此基础上，神经计算机系统也随之发展起来。神经计算机是模拟人脑神经信息处理功能，通过并行分布处理和自组织方式，由大量基本处理单元相互连接而成的系统。

神经计算机本质是一种处理单元互相连接的并行阵列，执行并发操作。每一个处理单元又与其他单元高度互联，并具有小容量局部存储器。神经计算机体系结构的特点可以概括如下。

(1) 模块处理单元。处理单元应该模块化，因此可以复制，每个处理单元必须由处理

机、通信功能和存储功能组成的自包含单元。

(2) 原处理单元。为了使大型神经计算机构成可行,一个处理单元必须是原处理单元,允许多个这样的单元组装在一个芯片上或硅片上。

(3) 规则通信。为了允许神经计算机可以扩充,要求规则通信结构,特别要求 VLSI 连接的限制。

(4) 异步操作。神经计算机可以是多指令流多数据流(MIMD)器件。

(5) 稳步性。任何异步并行系统要求处理和通信在所有情况下提供固有的稳定性。

(6) 可编程。为了支持大范围的神经模型,处理单元必须可编程,包括互联和处理支持的功能。

(7) 虚拟处理单元。为了执行潜在的任何超出并行神经网络,必须要有虚拟处理单元的概念,它们可以将后援存储以分页方式送到神经计算机。

目前,神经计算机的实现可以用全硬件方式或软件模拟方式实现。

2. 电子神经器件

电子神经芯片模拟的对象有两类:模拟能够记忆、联想和学习的人脑;模拟具有传感作用的感官。然而,这些器件仅仅是具有一定神经生理特性的简单工程模型,智能模拟生物感官的部分功能,与实际的生物感官之间存在着重大差别。

(1) 生物感官具有高度冗余的并行分布式结构和高度的容错性,而电子神经器件较难实现这一点。这主要是因为神经网络系统存在着大量连接,某一信息可能存储于多个神经元之中,单个神经元可能与多种存储信息有关。

(2) 电子神经器件的计算依赖于物理定理,任何时候都受到有限资源的约束,而生物感官却能有效地利用有限的资源来完成高度复杂的计算。

(3) 生物神经元的反应速度为 ms 级,而电子神经器件的反应速度是 ns 级,比生物神经元快得多。电子神经器件的信号传输速度虽然比人脑快得多,但是人脑的并行处理能力却远远超出电子神经器件。

如前所述,神经网络的数学模型中 4 种基本运算为积和运算、阈值处理、权值学习和非线性函数处理。这也是电子神经器件必须具备的 4 种基本功能。因此,用电子神经器件模拟人脑或感官需要解决如下问题:

(1) 神经元连接权值学习变化的表示以及其工艺实现;

(2) 具有大量神经元的神经网络的高密度或多维布线问题;

(3) 提高器件速度和容错能力所需的大规模并行问题。

电子神经网络的实现有模拟集成电路与数字集成电路两种形式,但目前大多数神经网络器件都是由模拟集成电路实现。这是由于:第一,神经元的生物模型与模拟电路模型更为接近;第二,模拟变量是连续变化的,比较容易实现神经网络的阈值器件、S 形非线性函数等。但模拟集成电路存在有功耗大、难以实现权值学习等困难,而数字集成电路时用脉冲信号密度表示权值,无须可变电阻,工艺实现较为简单,且可靠性好,但也存在电路结构复杂等问题。

3. 电子神经计算机

目前计算机主要是现代数字计算机硬件和软件技术基础上发展起来的专用系统,它们具有以下特点。

(1) 每个神经元不再对应于一个实的处理单元,而是对应于一个虚拟的处理单元,在运算过程中才落实到某一个物理处理器;

(2) 一个神经计算机不只是模拟一种特定的神经网络模型,而是可以通过编程实现多种神经网络模型。

典型的商品化协处理加速器是单块板,插在 IBM PC 的后板上,或者与 SUN 工作站接口。这些插件板可以在 Motorola 的 MC68020 加上一块 MC68881 浮点协处理器,配置 4MB 的大容量存储器,最终实现处理单元和互联。表 10-4-1 所示为商品化协处理器神经计算机的主要性能。

表 10-4-1 商品化协处理器神经计算机

厂 家	产品名	虚拟处理单元容量	互联数	训练速度	调用速度
Hecht-Nielsen 神经计算机	ANZA ANZA Plus	30KB 1MB	480KB 1.4MB	25kbps 1.5Mbps	45kbps 6Mbps
Human Devices	Parallon2 Parallon2X	10KB 91KB	52KB 300KB	15kbps 15kbps	30kbps 30kbps
科学应用国际公司	SIGMA	1MB	1MB	2Mbps	11Mbps
德州仪器公司	ODYSSEY	8KB	250KB	2Mbps	
TRW	Mark Ⅲ Mark Ⅳ	65KB 236KB	1M 5.5M	300kbps 5Mbps	
西门子公司	SYNAPSE-1	8MA-16			多节拍
中科院半导体所	CASSANDRA-Ⅱ	1024 神经元			单节拍

在现有计算机的基础上加入了神经网络加速板构成工作站,神经网络加速板一般由 DSP、局域存储器或一般微处理器芯片构成。DSP 和一般的微处理器芯片快速实现每个虚拟处理单元上的内积运算或非线性传递函数,局域存储器则存放该处理单元、连接权值及有关运行程序。主机是一个 PC 或服务器。衡量这类神经计算机工作站的指标如下:

(1) 所能实现虚拟处理单元的数目;

(2) 所能模拟的连接数;

(3) 每秒在学习状态下可计算的连接数;

(4) 每秒在回忆状态下可计算法定连接数。

4. 光神经计算机

光学器件能实现大规模互联和并行处理,对实现神经计算机有着特殊的吸引力。在过去的 20 年中,光计算的工作,大部分集中在模拟系统方面,并且形成了光学的一个重要的分支,称为光学信息处理。至今,模拟光学计算机已经得到了很大的发展,包括二维图像处理的范畴,向着更宽广的光计算方向发展,可以进行图像加、减和相乘,也可以进行二维傅里叶变换和卷积运算,还可以进行矩阵运算以及偏微分方程模拟解的运算等多种运算。

在物联网中,不但要求并行处理数据的速度要高,而且还要求其准确度要高,光学模拟计算机主要优点是快速并行处理,即速度快、结构简单。但也存在着固有的矩阵屏,归纳起来主要有两个方面的问题。首先,现有的光学模拟计算机软件的灵活性有限,计算的内容受

到了光学系统的限制，一般只适合个别特定的运算；其次，模拟系统对噪声很敏感，因此精度不高，动态范围较小。现有利用光神经来进行计算的有矩阵处理器、光空间调制器、光互联和光全息存储器以及全光神经计算机。这里就不详细叙述，有兴趣的读者可以参考文献。

10.5 本章小结

本章首先介绍了人工智能的基础知识：知识的表示方法、确定性推理方法和不确定推理方法，在此基础上介绍了物联网中的人工智能，然后介绍了神经网络的概念、发展历程、研究内容以及它的结构和优点，在此基础上进一步讨论了物联网中的神经网络，物联网中的路由选择和应用神经网络技术的神经计算机，从智能方面理解了物联网的发展趋势和方向。

习　　题

1. 什么是知识表示？常用的知识表示法有哪几种？
2. 什么是推理？常用的确定性推理有哪几种？
3. 简述推理的控制策略有哪些。
4. 什么是不确定性推理？出现不确定性推理的原因是什么？
5. 简述使用贝叶斯公式的不确定性推理方法。
6. 什么是神经网络？简述神经元的模型。
7. 简述 Hopfield 模型。
8. 简述细胞神经网络。
9. 简述神经计算机体系结构的特点。

第11章

物联网工程应用

应用是物联网存在的理由。发展物联网技术就是要使信息技术与各个行业、多门学科更进一步地紧密结合，相互渗透，深度融合，达到促进生产力发展，提高人们的生活质量，改善生态环境，支持经济与社会可持续发展的目的。

11.1 物 流 业

物流业是指物品从供应地向接收地的实体流动过程。物流业是将运输、储存、装卸、搬运、包装、流通加工、配送、信息处理等基本功能根据实际需要实施有机结合的活动的集合。

11.1.1 概述

对于“物流”的概念，不同国家、不同机构、不同时期有所不同。关于物流活动的最早文献记载是在英国。1918年，英国犹尼利弗的哈姆勋爵成立了“即时送货股份有限公司”，目的是在全国范围内把商品及时送到批发商、零售商和用户手中。在第二次世界大战期间，美国海军处于军事上的需要，引入了实物配送理论，对军事物资供应实行物流管理，并在此基础上发展完整的物流理论。在第二次世界大战中，美国军队围绕战争供应的问题，建立“后勤”理论并将其应用于战争活动中。在20世纪，西方国家已经出现了大量过剩、需求严重不足的经济危机，企业因此提出了销售与物流的问题。物流活动在社会经济领域无处不在，我们购买的任何商品背后都有物流的身影。物流是社会生产力高度发展的产物，也要随着生产力的发展不断变革，以便不断适应生产力发展的新需求。

物流业是一个复合型新兴产业，不能仅等同于运输业或者仓储业。物流业是物流资源产业化而形成的一种复合型或聚合型产业，物流资源有运输、仓储、装卸、搬运、包装、流通加工、配送、信息平台等，其中运输又包括铁路、公路、水运、航空、管道等。这些资源产业化就形成了运输业、仓储业、装卸业、包装业、加工配送业、物流信息业等。这些资源分散在多个领域，包括制造业、农业、流通业等。把产业化的物流资源加以整合，就形成了一种新的物流服务业。这是一种复合型产业，也可以叫聚合型产业，因为所有产业的物流资源不是简单的叠加，而是通过优化整合可以起到1＋1＞2的功效。

物流业是生产性服务业，生产性服务业是指为第一、二、三产业的实物生产和服务生产提供服务的产业。我们可以把生产区分为农业生产、工业生产和服务业生产，农业生产产出农产品，工业生产产出工业品，服务业生产产出服务产品。无论是农业生产、工业生产和服务业生产，都需要外购服务作为生产要素投入本企业的生产过程，这些外购服务就构成服务

性生产资料。在国际上，一般把50%以上产品用于生产的服务部门称为生产性服务业，50%以上产品用于消费的服务部门称为消费性服务业。在发达国家，生产性服务业在整个服务业的比重超过60%，其发展速度也明显快于消费性服务业，特别是金融、物流、运输、信息、商务服务发展最快。

1. 物流的类型

由于物流对象不同，物流目的的不同，物流范围、范畴不同，形成了不同类型的物流。

(1) 宏观物流。宏观物流是指社会再生产总体的物流活动，从社会再生产总体物流角度认识研究的物流活动。宏观物流还可以从空间范畴来理解，在很大空间范畴的物流活动，往往带有宏观性，在很小空间范畴的物流活动则往往带有微观性。宏观物流研究的主要特点是综观性和全局性。宏观物流主要研究内容是，物流总体构成、物流与社会的关系在社会中的地位、物流与经济发展的关系、社会物流系统和国际物流系统的建立和运作等。

(2) 微观物流。消费者、生产者企业所从事的实际的、具体的物流活动属于微观物流。在整个物流活动中，其中的一个局部、一个环节的具体物流活动也属于微观物流。在一个小地域空间发生的具体的物流活动也属于微观物流。

(3) 社会物流。社会物流是指超越一家一户的，以一个社会为范畴，面向社会为目的的物流。

(4) 企业物流。从企业角度上研究与之有关的物流活动，是具体的、微观的物流活动的典型领域。

(5) 国际物流。国际物流是现代物流系统发展很快、规模很大的一个物流领域，国际物流是伴随和支撑国际间经济交往、贸易活动和其他国际交流所发生的物流活动。

(6) 区域物流。相对于国际物流而言，一个国家范围内的物流，一个城市的物流，一个经济区域的物流都处于同一法律、规章、制度之下，都受相同文化及社会因素影响，都处于基本相同的科技水平和装备水平之中。

(7) 一般物流。一般物流是指物流活动的共同点和一般性，物流活动的一个重要特点，是涉及全社会、各企业，因此，物流系统的建立，物流活动的开展必须有普遍的适用性。

(8) 特殊物流。专门范围、专门领域、特殊行业，在遵循一般物流规律基础上，带有特殊制约因素、特殊应用领域、特殊管理方式、特殊劳动对象、特殊机械装备特点的物流，皆属于特殊物流范围。

2. 物流业的主要特征

(1) 物流反应快速化。物流服务提供者对上下游的物流、配送需求的反应速度越来越快，前置时间越来越短，配送间隔越来越短，物流配送速度越来越快，商品周转次数越来越多。

(2) 物流功能集成化。现代物流着重于将物流与供应链的其他环节进行集成，包括物流渠道与商流渠道的集成、物流渠道之间的集成、物流功能的集成、物流环节与制造环节的集成等。

(3) 物流服务系列化。现代物流强调物流服务功能的恰当定位与完善化、系列化。除了传统的储存、运输、包装、流通加工等服务外，现代物流服务在外延上向上扩展至市场调查与预测、采购及订单处理，向下延伸至配送、物流咨询、物流方案的选择与规划、库存控制策略建议、货款回收与结算、教育培训等增值服务；在内涵上则提高了以上服务对决策的支持

作用。

(4) 物流作业规范化。现代物流强调功能、作业流程、作业、动作的标准化与程式化,使复杂的作业变成简单的易于推广与考核的动作。

(5) 物流目标系统化。现代物流从系统的角度统筹规划一个公司整体的各种物流活动,处理好物流活动与商流活动及公司目标之间、物流活动与物流活动之间的关系,不求单个活动的最优化,但求整体活动的最优化。

(6) 物流手段现代化。现代物流使用先进的技术、设备与管理为销售提供服务,生产、流通、销售规模越大,范围越广,物流技术、设备及管理越现代化。计算机技术、通信技术、机电一体化技术、语音识别技术等得到普遍应用。世界上最先进的物流系统运用了GPS(全球卫星定位系统)、卫星通信、射频识别装置(RF)、机器人,实现了自动化、机械化、无纸化和智能化。如20世纪90年代中期,美国国防部(DOD)为在前南地区执行维和行动的多国部队提供的军事物流后勤系统就采用了这些技术,其技术之复杂与顶尖堪称世界之最。

(7) 物流组织网络化。为了保证对产品促销提供快速、全方位的物流支持,现代物流需要有完善、健全的物流网络体系,网络上点与点之间的物流活动保持系统性、一致性,这样可以保证整个物流网络有最优的库存水平及库存分布,运输与配送快速、机动,既能铺开又能收拢。分散的物流单体只有形成网络才能满足现代生产与流通的需要。

(8) 物流经营市场化。现代物流的具体经营采用市场机制,无论是企业自己组织物流,还是委托社会化物流企业承担物流任务,都以"服务-成本"的最佳配合为总目标,谁能提供最佳的"服务-成本"组合,就找谁服务。国际上既有大量自办物流相当出色的"大而全"、"小而全"的例子,也有大量利用第三方物流企业提供物流服务的例子,比较而言,物流的社会化、专业化已经占到主流,即使是非社会化、非专业化的物流组织也都实行严格的经济核算。

(9) 物流信息电子化。由于计算机信息技术的应用,现代物流过程的可见性(visibility)明显增加,物流过程中库存积压、延期交货、送货不及时、库存与运输不可控等风险大大降低,从而可以加强供应商、物流商、批发商、零售商在组织物流过程中的协调和配合以及对物流过程的控制,现代物流不仅单纯地考虑从生产者到消费者的货物配送问题,而且还考虑从供应商到生产者对原材料的采购,以及生产者本身在产品制造过程中的运输、保管和信息等各个方面,全面地、综合性地提高经济效益和效率的问题。因此,现代物流是以满足消费者的需求为目标,把制造、运输、销售等市场情况统一起来考虑的一种战略措施。这与传统物流把它仅看作是"后勤保障系统"和"销售活动中起桥梁作用"的概念相比,在深度和广度上又有了进一步的含义。现代物流具有以下几个特点:电子商务与物流的紧密结合;现代物流是物流、信息流、资金流和人才流的统一;电子商务物流是信息化、自动化、网络化、智能化、柔性化的结合;物流设施、商品包装的标准化,物流的社会化、共同化也都是电子商务下物流模式的新特点。

11.1.2 RFID在企业物流中的应用

1. RFID技术简介

RFID是一种非接触式的自动识别技术,它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据,识别工作无须人工干预,可用于各种恶劣环境。该系统由电子标签、读写器和数据

管理系统 3 部分组成，其组成结构如图 11-1-1 所示。RFID 技术的基本工作原理是标签进入磁场后，接收解读器发出的射频信号，凭借感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的产品信息；或者主动发送某一频率的信号，解读器读取信息并解码后，送至中央信息系统进行有关的数据处理。

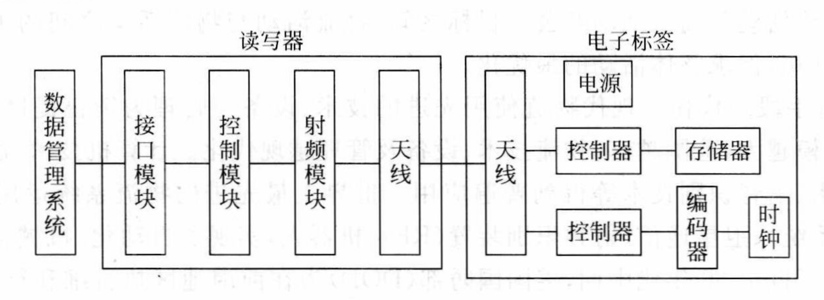


图 11-1-1　射频识别系统图

与传统的条形码技术相比，以 RFID 技术为基础的电子标签具有如下特点和优势：

(1) RFID 自动识别性强，只需在电磁波的范闻内即可实现自动识别和自动化管理；而条形码是靠光学识别，识别距离近。

(2) RFID 将数据存在芯片中抗污染能力强和耐久性好。因此，对水、油等物质具有很强的抵抗性，可以免受污损；而条形码则是一种“可视”的数据载体，防污性差。

(3) RFID 数据记忆容量大；而条形码的信息载体多为平面纸质印刷，信息量少。

(4) RFID 可重复使用，寿命较长，标签可以增加、修改、删除其储存的数据，方便信息的更新；而条形码一旦印刷则无法改变。

(5) RFID 识别速度快，错误率低。

2. RFID 未来发展方向

RFID 与其他新兴技术一样，仍存在很多问题，如标准不统一、成本高、侵犯隐私、读错率高等，但其在未来物流管理中的发展趋势是不容忽视的。为保证 RFID 在物流领域的广泛的应用，其未来研究方向应关注以下几个方面。

(1) RFID 标准的制定。RFID 标准（特别是关于数据格式定义的标准）的不统一是制约 RFID 发展的首要因素。因为每个 RFID 标签中都有一个唯一的识别码，如果它的数据格式有很多种且互不兼容，那么使用不同标准的 RFID 产品就不能通用，这对经济全球化下的物品流通是十分不利的。因此，制定 RFID 标准，让 RFID 产品能顺利地在世界范围中流通，是当前重要而急切需要解决的问题。其标准应包括 RFID 技术本身的标准，如芯片、天线、频率等方面，以及 RFID 的各种应用标准，如 RFID 在物流、身份识别、交通收费等各领域的应用标准。

(2) RFID 软硬件技术的突破。尽管 RFID 具备远距离读取、高储存量、有强力的抗污性等特性，但 RFID 读取的准确性的问题仍需进一步提高，主要是射频识别标签与读取机的进一步的开发研究。RFID 的应用管理过程中，离不开读取设备和相关的管理应用软件。因此，RFID 的读取设备、管理与应用软件开发和研究也有待进一步发展。如何有效处理应用 RFID 技术带来的巨大数据来降低成本，提高生产效率是至关紧要的问题。

(3) RFID 安全问题的解决。采用 RFID 技术的最大好处是可以对企业的供应链进行透明管理，但同时会使个人隐私受到影响。因此，RFID 的安全性也非常令人关注，需要尽

快推出增强安全性能的 RFID 产品。因为没有人会因为它使用起来方便而自愿让自己的隐私曝光。

(4) RFID 成本的降低。RFID 成本的降低问题目前是困扰企业大量应用 RFID 技术的关键问题,其成本主要是标签、读写设备及相关管理软件的成本。

其中,由于标签将贴于单件产品的效果,旨在表现同一主题下的差异性与个性化,力求把局部特征展现得生动具体,给人以深刻印象。例如,道奇汽车系列广告与众不同的诉求定位是设计了4幅主题不同的画面。其一,螺帽篇广告语为"冰冷中的温情",通过许多金属螺帽与单个花蕾间质的对比,传递温情理念;其二,乌鸦篇广告语为"单调中的斑斓",在一片漆黑的乌鸦中安排了一只色彩绚丽的鹦鹉,强烈的色彩对比使人对该车的设计理念产生丰富的认识;其三,土豆篇广告语为"粗拙中的灵巧",以若干粗糙的土豆对比一只玲珑的辣椒,借以传达产品造型的考究设计,阐释的则是工艺上的精雕细作以及与众不同的品质追求。整个系列广告在构图保持统一的基础上传递了不同广告诉求,凭借的是成功选择了不同的富有代表性的喻体,从而使得汽车的形象丰满完整。多方位展示系列形式留给设计者发挥空间较大,适用范围较广,是系列广告最常见的表现形式可以图文并茂,也可以有所侧重。

3. RFID 技术在物流管理中的应用

物流领域是 RFID 技术最有发展潜力、市场最大的领域,现已广泛应用于世界各地;在我国,物流领域的应用也具有很大的潜力。RFID 能够大大提高物流管理的透明度,物品能在任何地方被实时跟踪,安装在配送中心、仓库及货架的阅读器,能够自动记录物品的流动。通过 RFID 系统会大大节省人工成本,更加准确地收集数据信息,加快物流领域的发展。RFID 技术在物品流通中的应用彻底改变了传统的供应链管理模式,提高了企业运行效率。从整个物流环节看,RFID 技术的应用主要体现在以下几个环节:

(1) 零售环节。RFID 可以改进零售商的库存管理,实现适时补货,有效跟踪运输与库存,提高效率,减少出错。同时,智能标签能够对某些具有时效性商品的有效期限进行监控;商店还能利用 RFID 系统在付款台实现自动扫描和计费,取代人工收款方式。在未来的数年中,RFID 标签将大量用于供应链终端的销售环节,特别是在超市中,RFID 标签免除了跟踪过程中的人工干预,并能够生成100% 准确的业务数据,因而具有巨大的吸引力。目前,世界零售巨头沃尔玛即将淘汰条形码,全面采用 RFID 技术,从而进一步提高零售环节的效率。

(2) 存储环节。在仓库里,射频技术最广泛的使用是存取货物与库存盘点,它能用来实现自动化的存货和取货等操作。在整个仓库管理中,通过将供应链计划系统制定的收货计划、取货计划、装运计划等与射频识别技术相结合,能够高效地完成各种业务操作,如指定堆放区域、上架/ 取货与补货等。这样,增强了作业的准确性和快捷性,提高了服务质量,降低了成本,节省劳动力(8%~35%)和库存空间,同时减少了整个物流中由于商品误置、送错、偷窃、损害和库存、出货错误等造成的损耗。RFID 技术的另一项好处就是在库存盘点时降低人力。RFID 的设计就是要让商品的登记自动化,盘点时不需要人工的检查或扫描条码,更加快速准确,并且减少了损耗。RFID 解决方案可提供有关库存情况的准确信息,管理人员可由此快速识别并纠正低效率运作情况,从而实现快速供货并最大限度地减少储存成本。

(3) 运输环节。在运输管理中,在途运输的货物和车辆是通过在其上贴上 RFID 标签,

例如将标签贴在集装箱和装备上通过射频识别来完成设备与跟踪控制。RFID 接收转发装置通常安装在运输线的一些检查点上(如门柱上、桥墩旁等),以及仓库、车站、码头、机场等关键地点。接收装置收到 RFID 标签信息后,连同接收地的位置信息上传至通信卫星,再由卫星传送给运输调度中心,送入数据库中。

(4) 配送/分销环节。在配送环节,采用射频技术能大大加快配送的速度和提高拣选与分发过程的效率与准确率,并能减少人工、降低配送成本。

到达中央配送中心(CDC)的所有商品都贴有 RFID 标签,在进入中央配送中心时,托盘通过一个门阅读器,读取托盘上所有货箱上的标签内容。系统将这些信息与发货记录进行核对,以检测出可能的错误,然后将 RFID 标签更新为最新的商品存放地点和状态。这样就确保了精确的库存控制,甚至可确切了解目前有多少货箱处于转运途中、转运的始发地和目的地,以及预期的到达时间等信息。

RFID 技术使得合理的产品库存控制和智能物流技术成为可能。借助电子标签,可以实现商品对原料、半成品、成品、运输、仓储、配送、上架、最终销售,甚至退货处理等环节进行实时监控。例如,经营者透过 RFID 技术,可以实时了解到货架情况并迅速补货,减少 10%～30%的安全库存量,从而大大降低仓储成本。自动化程度的提高和差错率的降低,使整个供应链管理透明而高效。RFID 技术非常适用于物料跟踪、运载工具、仓库货架以及其他目标的识别等要求非接触数据采集和交换的场合。广泛用于物流管理中的仓库管理、运输管理、物料跟踪、运载工具和货架识别、商店,特别是超市中商品防盗等场合。

4. RFID 技术的障碍及解决策略

RFID 技术虽然在物流行业已经广泛应用,但还存在一些技术障碍。

(1) 标准问题,也是最大的难题。RFID 技术标准涉及空中接口协议标准、中间件标准、数据格式标准、信息安全标准、测试标准等。目前,国际上主要有三大 RFID 标准体系,缺乏全球共同遵守权威统一的标准。标准问题已经成为制约 RFID 发展的瓶颈。

(2) RFID 在推广应用遇到成本障碍。购置 RFID 的硬件和软件系统是一笔庞大的投资,中小型企业只能望而却步。另外,RFID 标签的价格居高不下,无源标签和有源标签的价格分别在 30 美分和 1 美元以上。技术专家认为无源标签的价格降到 10 美分后,可以大规模地应用于整箱整件的商品;下降到 3 美分以下,就有可能普及到单件包装消费品。

(3) RFID 技术对共享数据的实时性和安全性的要求很高。数据的共享给 RFID 数据系统带来新的隐患:标签信息的非法获取与改动、对标签的非法跟踪、有效身份的冒允和欺骗等问题。

RFID 技术缺乏国际统一标准,我国应积极参与国际标准组织的活动,充分利用规则,加大我国在标准制定中的发言权,努力促使未来的国际标准向着相对有利于我国的方向发展。

RFID 技术的成本主要由两部分组成,这就是"技术及产品成本"和这一技术在"应用环节形成的成本"。在降低新技术、新产品生产成本的同时,应该更多地研究,科学地构建应用环节的成本,合理调整两者比例。RFID 技术的总成本的高低及其被认可的程度,取决于在 RFID 应用系统集成工作中对 RFID 价值的表达发挥的力度和方式的好坏。对 RFID 技术推广应用中所遭遇到的"成本障碍"问题,不仅以通过降低产品生产成本解决,还可以通过在应用系统的集成中充分发挥 RFID 技术的核心价值,充分重视对应用模式的研究和设计。

科学设计应用价值链，追求其使价值最大化来予以解决。

安全漏洞主要会出现在RFID标签、网络或者数据等各个环节，因此，建立一种能有效保护隐私的机制是必不可少的。在解决RFID系统安全问题时，芯片本身的授权和加密同样重要，但任何一个单层面的解决方案都有可能导致系统出现明显的安全弱点和漏洞。在此提出基于物免疫的RFID安全策略，借鉴生物免疫系统的基本生理机制，针对RFID系统设计一个分布、自适应的RFID安全系统模型。该模型不仅能实现入侵检测，而且能够产生入侵响应，最终将入侵者排除出RFID系统之外。

11.1.3 电子商务物流

1. 电子商务的基本概念

电子商务(electronic commerce, EC)是指通过互联网进行的各种商务活动，它覆盖了与商务活动有关的所有方面。电子商务所覆盖的业务范围相当广泛，它主要包括以下方面：信息的传递与交换、网上订货与交易、网上认证与支付、商品的运输与配送、商品的售前与售后服务，以及实现企业之间的资源共享等。按照世界贸易组织电子商务专题报告的定义，电子商务就是通过电信网络进行的生产、营销、销售和流通活动，它不仅是指基于Internet的网上交易活动，而且指所有利用电子信息技术来解决扩大宣传、降低成本、增加价值和创造商机的商务活动，包含通过计算机网络实现从原材料采购、产品展示与订购，到产品生产、储运与电子支付等商务活动。电子商务应该包括商务活动的各个方面。

2. 电子商务也将会改变物流

电子商务为物流创造了一个虚拟性的运动空间。在电子商务的状态下，人们在进行物流活动时，物流的各种职能及功能可以通过虚拟化的方式表现出来，在这种虚拟化的过程中，人们可以通过各种组合方式，寻求物流的合理化。使商品实体在实际的运动过程中，达到效率最高、费用最省、距离最短、时间最少的目的。电子商务可使物流实现网络的实时控制。在电子商务下，物流的运作是以信息为中心的，信息不仅决定了物流的运动方向，而且也决定着物流的运作方式。在实际运作过程中，网络的信息传递，可以有效地实现对物流的实施控制，实现物流的合理化。电子商务将改变物流企业对物流的组织和管理。在传统经济条件下，物流往往是由某一企业来进行组织和管理的，而电子商务则要求物流以社会的角度来实行系统的组织和管理，以打破传统物流分散的状态。这就要求企业在组织物流的过程中，不仅要考虑本企业的物流组织和管理，而且更重要的是要考虑全社会的整体系统。电子商务将改变物流企业的竞争状态。在电子商务时代，物流企业之间依靠本企业提供优质服务、降低物流费用等方面来进行的竞争内容依然存在，但有效性却大大降低了。原因在于电子商务需要一个全球性的物流系统来保证商品实体的合理流动，对一个企业来说，即使其规模再大，也是难以达到这一要求的。这就要求物流企业应相联合起来，在竞争中形成一种协同合作的状态，以实现物流高效化、合理化、系统化。电子商务将促进物流基础设施的改善。电子商务高效率和全球性的特点，要求物流也必须达到这一目标。而物流要达到这一目标，良好的交通运输网络、通信网络等基础设施则是最基本的保证。电子商务将促进物流技术的进步。物流技术主要包括物流硬技术和软技术。物流技术水平的高低是实现物流效率高低的一个重要因素，要建立一个适应电子商务运作的高效率的物流系统，加快提高物流的技术水平则有着重要的作用。

3. 电子商务物流的特点与趋势

一切商务形式都离不开物流。一定的商务形式要有一定的物流与之相应。电子商务是网络经济时代的商务主流。跟它相适应的物流表现出如下鲜明特点与趋势：

(1) 高度信息化。物流过程信息化包括物流信息商品化、物流信息采集的数据库化、物流信息处理的电子化、物流信息传递的标准化等。借助 GPS 信息系统和各种功能强大的数据库系统，企业可以清楚地了解商品的各种信息（地点、品种、数量等）和目前所处的状态。物流过程的信息化将极大地提高物流管理效率，保持物流企业的低成本运作。

(2) 自动化。各种物流作业工具在信息化的基础上将能极大地扩展物流的处理能力，提高物流企业的劳动生产率，减少物流作业中因人为因素而导致的差错。物流自动化的设施主要包括：条形码识别系统、自动分拣系统、GPS 系统等。

(3) 物流功能集成化。物流企业突破以往简单的提供仓储、运输服务的功能，代之以在整个流通领域内，从涉及物流的各个方面提供更为全面的服务，如增值流通加工、配货、门到门的配送等。

4. 我国电子商务物流体系的现状和瓶颈原因

我国现有物流企业大致可以分为以下几类：

(1) 中央直属的专业性物流企业，即专营生产资料的物资储运总公司和外运总公司。仓储主要针对系统内部，因此商流与物流分离，受行政控制。

(2) 地方专业性物流企业，即地方商业系统的储运公司及粮食仓储系统，完全受当地行政领导。

(3) 兼营性物流企业，即集物流与商流为一体的物流企业，比重大，且数量正在不断增多。从电子商务配送方面看，目前我国社会公用物流系统（如邮政快递 185 和其他众多速递公司）满足某些特定商品配送（主要是网上购物 B2C 形式）的需要，但由于各自为政，业务割据，相对来讲，业务量较小，物流系统的运行成本过高，从而使电子商务的物流成本也较高。在最容易取得利润的 B2B 电子商务领域，我国的配送体系和物流设施还非常落后，基本上还沿用传统的仓储和运输模式，即人工账册库存管理，货物直接堆码或普通货架存放，人工或机械进行物料的搬运或装卸。这种物流管理和作业模式远远不能满足用户多品种、小批量的需求，更不能满足电子商务对物流系统的要求，已经成为制约我国电子商务发展的重大障碍。以互联网为平台的网络经济可以改造和优化物流，但是不可能根本解决物流问题。

我国目前物流配送成本高，效率低，且无规模优势和资本优势，主要有以下几方面的原因：

(1) 我国企业对物流的重要性认识不足。我国的电子商务还处在初级发展阶段，其功能局限于信息的交流，电子商务与物流之间相互依赖、相互促进的关系还没有在社会上得到普遍的认识。特别是很多企业认为物流就是运输，对物流的认识仍停留在传统的货运、存储等层面上。重商流，轻物流；重信息网，轻物流网；重电子、轻商务的现象普遍存在，这在很大程度上影响了物流和配送的发展。

(2) 与物流发展相关的制度和政策法规尚未完善。我国现代物流的发展仍处于起步阶段，相关制度和法规有待完善，与企业发展息息相关的融资制度、产权转让制度、用人制度、社会保障制度、市场准入与退出制度等方面的改革还远不能适应企业发展的需要。企业在改善自身物流效率时，必然要在企业内外重新配置物流资源，而制度和法规的缺陷阻碍了企

业对物流资源的再分配。物流企业跨区域开展物流业务时常常受地方保护主义困扰。

(3) 电子商务发展的物流配送平台构建滞后。电子商务的物流配送平台包括两个网络：实体网络和信息网络。我国目前实体网络的现状是：运输设施区域布局不合理，物流网点没有统一布局，物流企业的分布过于分散，物流设施装备普遍落后。信息网络的现状是：工商企业内部物流信息管理和技术手段比较落后，缺乏必要的公共物流信息交流平台等。

(4) 物流装备标准化程度低。我国物流部门条块分割自成体系，使得物流环节中各种运输方式之间装备标准不统一，物流器具标准不配套，物流包装标准与物流设施标准之间缺乏有效衔接，这导致了物流无效作用环节的增加，物流速度降低和物流成本攀升，影响了物流的效率和效益。

(5) 物流和配送人才短缺。发达国家物流的发展实践表明，物流从业人员是否具有较高的物流知识和操作经验，直接影响到企业的生存与发展。国外的物流经过多年发展，已形成了一定规模的物流教育系统，许多高校设置了与物流相关的课程，为物流行业培养并输送了大批实用人才。相比之下，我国在物流和配送方面的教育还相当落后，高等教育中还没有形成立体层面的物流教育体系，物流职业教育培训仍是一片盲区。

5. 现阶段我国电子商务物流配送的可选模式

当前我国电子商务物流配送的可选模式：

(1) 传统企业开展电子商务可与普通商务活动共用一套物流系统。对于已经开展普通商务的公司可以建立基于 Internet 的电子商务销售系统，同时可以利用原有的物流资源，承担电子商务的物流业务。国内从事普通销售业务的公司主要包括制造商、批发商、零售商等。制造企业的物流设施普遍要比专业流通企业的物流设施先进，这些制造企业完全可能利用原有的物流网络和设施支持电子商务，开展电子商务不需新增物流、配送投资。对它们来讲，比投资更为重要的是物流系统的设计、物流资源的合理规划。而批发商和零售商应该比制造商具有组织物流的优势，因为，它们的主业就是流通。

(2) 新型电子商务企业可以自建物流系统或利用社会化的物流、配送服务。最早开展电子商务的，是那些与传统企业完全不同的新型电子商务企业。对于它们解决物流和配送问题的办法主要有两种：一种是自建物流公司。因为国内的物流公司大多是由传统的储运公司转变过来的，还不能真正满足电子商务的物流需求。因此，新型电子商务企业考虑自建物流公司。另外一种做法是外包给专业物流公司。将物流外包给第三方物流公司是跨国公司管理物流的通行做法。按照供应链的理论，将不是自己核心业务的业务外包给从事该业务的专业公司去做，这样从原材料供应到生产，再到产品的销售等各个环节的各种职能，都是由在某一领域具有专长或核心竞争力的专业公司互相协同和配合来完成，这样所形成的供应链具有最大的竞争力。

(3) 第三方物流企业建立电子商务系统。区域性或全球性的第三方物流企业具有物流网络上的优势，它们的规模达到一定程度以后，也想将其业务沿着主营业务向供应链的上游或下游延伸，向上延伸到制造业，向下延伸到销售业。例如，1999 年美国联邦快递(FedEx)公司这家世界最大的快递公司决定与一家专门提供 B2B 和 B2C 解决方案的 Inter Shop 通信公司合作开展电子商务业务。FedEx 一直认为自己从事的不是快递业而是信息业，公司进军电子商务领域的理由有：第一，已经有覆盖全球 211 个国家的物流网络；第二，公司内

部已经成功地应用了信息网络。这一网络可以使消费者在全球通过因特网络浏览服务器跟踪其发运包裹的状况。该公司认为,这样的信息网络和物流网络的结合完全可以为消费者提供完整的电子商务服务。但是,我们必须认识到毕竟物流服务与信息服务分属不同的领域,需要专门的经营管理技能,第三方物流公司涉足电子商务的销售和信息服务领域需慎重。

6. 我国电子商务物流配送体系发展

我国电子商务物流配送急需解决的3个问题:

(1) 树立对物流和配送的正确认识。虽然国内对物流和配送的研究早在20世纪80年代就已开始,学术界和政府有关主管部门对物流和配送的认识都在不断提高。但就全社会而言,对物流和配送的认识还非常模糊。因此,我们急需学习发达国家的物流配送理论与实践经验,加强对现代物流理论的研究。同时,必须花大力气宣传物流配送知识,以树立全社会对物流和配送的正确认识。

(2) 培养物流、配送人才。从国外物流和配送的发展经验来看,企业要求物流和配送方面的从业人员具有相当的物流知识水平和实践经验。因此,国外物流和配送的教育、培训非常发达,形成了比较合理的物流和配送人才的教育培训系统。他们的做法:一是在相当多的大学和学院中设置了物流管理专业,并广泛地为工商管理各专业的学生开设物流课程;二是部分商业院校设置了物流方向的研究生课程和学位教育,形成了一定规模的研究生教育系统;三是在各国物流行业协会的领导和倡导下,全面开展了物流和配送的职业教育。值得注意的是,职业教育是培养物流和配送人才的最重要和经济的方式。许多国家的物流从业人员必须接受职业教育,获得从业资格后,才能从事物流和配送方面工作。相比较而言,我国在物流和配送方面的教育还非常落后,在高等院校中设物流专业和课程的并不多见,研究生层次教育刚刚起步,职业教育更加贫乏。通过委托培训方式培训员工的企业也不多见。

(3) 物流和配送发展所需的制度环境还有待进一步深化改革。物流与配送发展所需的制度环境,也就是企业开展正常经营活动的制度环境或市场环境,主要是指融资制度、产权转让制度、人才使用制度、市场准入或退出制度、社会保障制度等。这些制度方面的改革,目前还远远不能适应企业经营的需要,也不能适应市场经济体制改革的要求。企业在改善自身物流效率时,必然要涉及各种物流资源在企业内部和企业与市场之间的重新配置。而由于上述制度改革尚未到位,企业根据经济合理原则对物流资源的再配置就会受到阻碍。

11.2 城市市政管理

11.2.1 概述

随着城市的迅速发展,城市经济发展面临着日益严重的资源和环境压力。城市人口规模增长过快、城市供配电压力沉重、环境污染与生态破坏严重、交通拥堵治理困难、安全生产形势严峻、城市部件管理中的违法违规现象屡禁不止等,这些都成为城市发展中最为突出的矛盾,成为城市管理中必须重视的问题。

城市经济发展所面临的种种问题,迫切要求科学发展的新理念、新思路、新技术。现代城市在区域经济和社会发展中具有重要作用,因此必须重视城市的信息化建设,通过信息技

术在城市发展各个领域的应用，提高信息化对经济发展的贡献率，提高注重城市规划、建设和管理水平，加速实现现代化的重任。

在突飞猛进的城市化进程中，如何有效利用信息技术提升城市管理水平以跟上快速增长的城市化，引导、推动我国进入信息社会已成为城市管理者的当务之急；如何紧跟时代节拍，践行科学发展观，摒弃传统城市管理模式的诸多弊端，以全新的管理理念和管理模式取而代之，全面提高城市管理水平，是历史赋予我们的责任，更是城市管理者面临的重大课题。在城市建设、转型、发展中，迫切需要一种科学的指导思想和综合的解决方案，而物联网正是现有技术发展的产物。物联网将各种不同类型的网络全面互联，通过传感器节点和城市基础设施感知环境、状态、位置等信息，有指向性地进行网络资源的连接和信息融合，通过政府、企业和科研院校在网络互联和信息共享的基础上不断地进行科技、业务和应用创新，从而促进城市各个关键系统和参与者进行和谐高效地协作，为城市发展提供源源不断的动力。

物联网技术能够有效解决城市发展中遇到的问题，促进城市管理信息化、智能化发展。随着物联网技术解决方案在各领域的试点和应用推广，对于城市中庞大的感知信息，在面向多样化的应用和业务管理时，涉及不同网络、多个部门间的协作，迫切需要建立一个综合的业务管理平台，通过充分运用通信技术手段感测、分析、整合城市运行核心系统的各项关键信息，有效地将各种应用集中于一个系统，支持各种商务智能与决策支撑应用的有效运行，从而在已有的信息化基础上为市民提供更加综合的服务，为政府部门提供更加有效的信息分析和更符合实际的决策，对包括民生、环保、公共安全、城市服务、工商业活动在内的各种需求做出更智能化的响应。城市综合业务管理平台通过传感网络层、中间件、接入网络、运营和管理以及应用/服务层，形成从基础网络到应用创新的可持续循环的服务体系。

感知城市基础信息的传感网构成了城市综合业务管理平台建设和运行的基础。通过遍布城市各处的智能设备，将身份感知、状态感知、位置感知等全面感测数据收集起来，使所有涉及城市运行和城市生活的各个重要方面都能够被有效感知和监测。

11.2.2 应用案例

1. 项目背景

深圳市是中国广东省省辖市，国家副省级计划单列城市。深圳经济特区在其辖区内。深圳市管辖下罗湖、福田、南山、盐田、宝安、龙岗6个区，其中罗湖、福田、南山、盐田4个区位于经济特区内，宝安、龙岗两个区位于经济特区外。

经过几十年的改革开放，深圳市的经济、社会取得了长足的发展。深圳市建成区面积快速增长，城市人口不断增加，城市规模不断扩大，城市管理的内容也不断增加，城市管理的任务日趋繁重，城市管理在城市发展中的作用日益突出。

作为一个举国瞩目的特区城市，深圳市的城市管理水平和运行效率如何与时俱进，是一个非常重大的政府课题和社会课题。面对现实，面向未来，深圳市城市管理需要变革，需要创新。实现对城市的“科学、严格、精细、长效”管理是城市可持续发展的必然要求。通过信息化管理内在的系统性、网络性、程序性和透明性等来推进城市管理资源优化整合、管理流程科学再造、管理主体多元参与，成为提高城市管理水平的有效手段。

深圳市城市管理信息化实践证明，数字化城市管理是实现城市“科学、严格、精细、长效”管理的有效手段。实施数字化城市管理，能够创新城市管理模式，再造城市管理流程，及时

发现并有效处理城市管理中的各种问题，进一步提高城市管理水平和管理效率。

深圳市一直高度重视并积极推动城市管理的信息化工作。2002 年建成了"深圳市城市管理指挥监控中心"，具备统一受理城管投诉、应急指挥协调、城市视频监测等职能，在深圳市城市管理工作中发挥了积极作用。2003 年 12 月，深圳市承担完成了建设部"深圳市城市管理数字化示范应用工程"项目，这是国内数字化城市管理模式的首次尝试。

2. 系统简介

由天夏科技集团承建的深圳市数字化城市管理工程的主要内容是建设一个平台，建立两个轴心，实行三项评价，实现一个目标。一个平台是建立统一的数字化城市管理信息系统平台，能覆盖市、区、街道、社区和各个专业管理部门的多级多类城市管理应用需求，实现统一平台、集中管理、信息共享、分布应用，主要包括划分单元网格、开展城管综合信息普查、开发应用系统、实现政府信息资源共享。两个轴心是以监督和执行适度分离为原则，设置监督评价和指挥协调两个运转轴心，实行监管分离。三项评价是对城市管理的监督人员、指挥协调人员、操作人员、事件部件处理人员实行岗位绩效评价；对城市管理的有关单位和部门实行部门绩效评价；对各级政府的管理辖区实行区域质量和管理效果评价。这 3 类评价都是刚性评价，系统对每个对象都设计了一级指标、二级指标和三级指标，采用加权综合评分法计算总分，自动生成评价结果，并通过不同的颜色显示在相应的网格图中，予以在网上公布，使其一目了然，接受市民监督。

深圳数字化城市管理是深圳建市 27 年来最大的信息化项目，也是深圳 2006 年"城市管理年"三大工程之一。深圳数字城管是全国第一个多层次、多部门、市辖区管理结构的综合城市管理系统，也是规模和投入最大的一个工程。

3. 建设目标

深圳市数字化城市管理系统建设的总体目标是依托计算机网络技术、移动通信技术、计算机电信集成技术、空间信息技术、单元网格区划编码技术、城市部件管理技术等多种数字城市技术，实现城市部件与事件管理的数字化、网络化和空间可视化；创新城市管理模式，再造城市管理流程，建立一套科学完善的监督评价体系，及时发现并有效处理城市管理中的各种问题，进一步提高城市管理水平和管理效率。

通过实施数字化城市管理，实现城市管理由被动管理型向主动服务型转变，由粗放定性型向集约定量型转变，由单一封闭管理向多元开放互动管理转变，实现信息技术与城市管理应用的有机结合，专业监督与综合监督的有机结合，政府监督与群众监督的有机结合，内部考核与外部评价的有机结合，精细规范管理与全面覆盖管理的有机结合，高效管理与长效管理的有机结合。最终实现对城市的"科学、严格、精细、长效"管理。

4. 系统特点

(1) 综合运用多种先进而成熟的数字城市技术

深圳市数字城管系统综合运用了计算机网络技术、移动通信技术、计算机电信集成技术、地理信息系统(GIS)技术、全球定位系统(GPS)技术、遥感技术、单元网格技术、城市部件管理技术、数据库技术、智能客户端技术、工作流技术、协同处理技术、网络信息安全技术等多种先进而成熟的数字城市技术，是一个技术先进、框架灵活、运转高效的分布式城市管理信息平台。

(2) 充分实现真正的GIS核心功能

系统深入研究了北京市东城区“网格化城市管理信息平台”和南京市鼓楼区“数字化城市管理系统”的有关情况，发现它们在空间数据分层分类管理、GIS查询统计、GPS空间定位等方面的功能还不是很完善。针对上述问题，系统特别加强了GIS、GPS的功能实现。采用业内领先的GIS平台构建应用系统，使系统能方便地对海量的城市部件及事件数据进行分层分类管理，并具有丰富的GIS查询与统计功能。采用先进的“GPS定位＋基站定位”技术和功能强大的GPS终端，可方便地实现精确的GPS定位功能。

(3) 支持海量空间数据管理和显示

深圳市数字城管系统采用了业内领先的空间数据库引擎技术，能够支持海量的空间数据管理和显示。系统提供了将海量影像存储到大型关系数据库和面向对象数据库中的功能，并可以根据需要选择对数据进行有损压缩或无损压缩。在影像数据库中，支持建立影像金字塔。这样既能避免采用小波影像压缩技术的较多质量损失，又达到了海量影像数据的组织管理和快速浏览效果的目的，可以实现与海量空间数据的快速显示。

(4) 实现城市管理的精细化和空间可视化

深圳市数字城管系统采用单元网格技术、城市部件管理技术等先进的城市管理技术手段，实现城市部件与事件管理的数字化、网络化和空间可视化，从而方便地实现城市管理的精细化和空间可视化。

(5) 提供多源异构数据共享的完整解决机制

在系统中采用了国际领先的消息中间件和新一代数据共享平台XPub，使系统能够提供多源异构数据共享的完整解决机制，从而有力地保证了数据共享与交换系统的有效运作。

(6) 跨平台性和可扩展性

深圳市数字城管系统基于先进的.NET技术架构，能够方便地在现有网络硬件平台和Windows、UNIX、Linux等多种操作系统平台上运行。系统能够最大限度地利用用户在硬件平台已有的投资，并能够充分利用硬件的性能。系统采用组件化设计，并提供了一个完善的管理框架，能够很容易地进行功能扩充和应用扩充。整个系统设计有利于深圳市数字城管系统后续项目的快速实施。

(7) 实用性和易操作性

深圳市数字城管系统的建设特别考虑了实用性和易操作性的需求。针对市领导和区领导等领导层面，设计了领导批示功能，能够使领导方便地进行工作指示和任务分派。同时提供了丰富而强大的GIS查询和统计功能，用户可以根据自己的权限和实际需求，进行对管辖区域或指定区域进行空间查询和统计操作，从而方便地获得有更高实际价值的信息。

考虑到城管监督员、呼叫中心操作员等用户的计算机基础，特别注重了系统设计的易操作性。整个系统采用B/S与C/S相结合的混合架构模式，方便用户使用和维护。在系统操作风格上采用了类似Windows的风格，操作界面简洁清晰，使用帮助详尽易懂，从而有效保证了系统的易操作性。

(8) 完备的信息安全体系

本系统建立了完备的网络信息安全体系，包括设施安全、网络安全、数据库安全、应用安全以及安全管理等多个方面。采用了防火墙、入侵检测、无线VPN、CA认证等多种安全措施，有效保证了系统的安全性。

5. 系统创新点

深圳市是建设部批准的数字化城市管理新模式首批试点城市(城区)之一,与其他试点的兄弟城市(城区)相比,深圳市信息化基础设施比较完善,电子政务网络也比较健全。

(1) 管理范围的创新

作为建设部批准的数字城管试点城市,深圳市数字城管项目的实施范围为整个深圳市,系统的实施范围、管理内容、实现方式等均与北京市东城区、南京市鼓楼区等以城市内部某一城区为实施范围的系统不同,所涉及的城市部件和事件类型都更为复杂。通过本系统的建设,可以为国内大城市在全市范围内实施数字城管系统提供极具参考价值的成功样板。

(2) 管理机制的创新

深圳市城市管理新模式依托深圳市数字城管系统进行构建。新模式按照"重心下移、两级两轴、统一平台"的原则进行设计。在市、区两级分别成立城管监督中心和指挥中心,监督中心和指挥中心既相互独立又相互制约,形成城市管理体制中的两个"轴心"。市、区两级监督中心和指挥中心按照"重心下移"的原则进行运作。市、区两级监督中心和指挥中心使用统一的数字城管信息平台进行工作。市、区两级监督中心均内设呼叫中心,两级呼叫中心采用"统一接入、分区受理、逻辑集中、物理分离"的模式,接收城市管理问题信息。

(3) 管理内容的创新

与其他试点的兄弟城市相比,深圳市的数字城管系统在管理内容上有所增加。系统根据深圳市城市管理的实际情况,增加了 31 个部件小类,并对分类与编码标准中设定的 6 个部件名称做了局部调整,同时增加了 1 个事件大类(其他类)、19 个事件小类,并对分类与编码标准中设定的 4 个事件名称做了局部调整,以保证城市管理部件和事件分类更加符合深圳市城市管理的实际需要。

(4) 管理方式的创新

考虑到当前城管急需要解决问题,又要兼顾整合资源、协同管理。因此,数字化城市管理不可能一步到位,需要立足实际、兼顾未来,一次规划、分步推进,一门受理、多方处理。

(5) 应用技术的创新

该系统综合运用多种先进而成熟的数字城市技术,实现了地理信息技术、遥感技术、GPS 技术等应用技术的诸多创新。

(6) 表现方式的创新

深圳市的城市部件和事件,在建设部发布的国家行业标准《城市市政综合监管信息系统管理部件和事件分类与编码》(CJ/T 214—2005)的基础上,增加了 31 个部件小类、1 个事件大类(其他类)、19 个事件小类,因而需要在分类与编码标准的基础上增加及改造部件和事件表示符号。

根据深圳市数字城管项目实际要求,在参考分类与编码标准的基础上,设计了一套既符合标准化规范化要求,又形象、直观并具有深圳特色的部件和事件符号系统,实现了表现方式上的创新和提升,有效增强了系统的数据管理效果和表现效果。

数字化城市管理新模式的基本框架是采用单元网格管理法和城市部件管理法相结合的方式,整合应用多项数字城市技术,研发"城管通",创新信息实时采集传输的手段,创建城管监督中心和城管指挥中心两个轴心的管理体制,再造城市管理流程,从而实现精细、高效、全时段、全方位覆盖的城市管理模式,它进一步确定了城市管理空间、管理对象、管理方式和管

理主体,是管理思想、管理理念、管理技术和管理体制的整合和创新。

11.2.3 物联网与城市信息化

1. 物联网与城市智能化管理

在突飞猛进的城市化进程中,如何有效利用信息技术提升城市管理水平以跟上快速增长的城市化,引导、推动我国进入信息社会已成为城市管理者的当务之急;如何紧跟时代节拍,践行科学发展观,摒弃传统城市管理模式的诸多弊端,以全新的管理理念和管理模式取而代之,全面提高城市管理水平,是历史赋予我们的责任。更是城市管理者面临的重大课题。

2009年8月,温家宝总理在考察中科院无锡高新微纳传感网工程技术研发中心时,提出把传感网络中心设在无锡、辐射全国的想法;指出"在传感网络发展中,要早一点谋划未来,早一点攻破核心技术"。"在国家重大科技专项中,加快推进传感网发展"。"尽快建立中国的传感信息中心"。

2009年10月无锡物联网示范基地成立,无锡市举全市之力抢占新一轮科技革命制高点,把无锡建成传感网信息技术的创新高地、人才高地和产业高地。至11月,成功签约了11个物联网项目。项目研发领域覆盖传感网智能技术研发、传感网络应用研究、传感网络系统集成等物联网产业多个前沿领域。

2009年11月3日,温家宝总理在人民大会堂发表了题为"让科技引领中国可持续发展"的讲话指出抢占5大新兴战略性产业制高点。要着力突破传感网、物联网关键技术,及早部署后IP时代等相关技术研发,将传感网络与物联网领域纳入新兴产业规划之中。

在城市建设、转型、发展中,迫切需要一种科学的指导思想和综合的解决方案,而物联网正是现有技术发展的产物。物联网将各种不同类型的网络全面互联,通过传感器节点和城市基础设施感知环境、状态、位置等信息,有指向性地进行网络资源的连接和信息融合,通过政府、企业和科研院校在网络互联和信息共享的基础上不断地进行科技、业务和应用创新。从而促进城市各个关键系统和参与者进行和谐高效地协作,为城市发展提供源源不断的动力。

国家和北京市政府对物联网技术的创新应用和推广给予了极大的支持。目前已有物联网技术在城市管理、环境监测、物流信息化、智能交通及公共安全等诸多领域的应用解决方案,并在城市的各个方面积极开展了应用示范工作。

北京奥运会期间实行的奥运路线交通流信息实时监测系统,其地面交通流的信息采集与处理系统、交通控制系统、交通监测系统均实现了信息化控制,同时还加大了可变交通信息标志(VMS)的信息发布系统、公交优先信号系统、动态停车诱导系统等智能系统的覆盖范围。

无锡传感网中心的传感安全防护设备在上海浦东国际机场和上海世博会成功应用,这套设备由10万个微小的传感器组成,散布在墙头、墙角、墙面和周围道路上。传感器能根据声音、图像、震动频率等信息分析判断爬上墙的究竟是人还是猫、狗等动物。

2009年11月1日开始,上海世博局与中国移动联合推出的可承载世博会手机票的RFID-SIM卡正式发售,代表中国移动也开始布局物联网。其即将推出的手机钱包、手机购电等手机支付业务,用户在消费时,只需将手机在接收器上轻轻一扫,就可方便地进行各种

购物，并获得详细的费用清单。

中国电信还推出了平安 e 家业务、全球眼技术；上海海关采用中国电信的远程监控系统，通过画面可以对货物进行通关检查，提高了检查效率，并减少了人力。中国联通推出了无线环保监测平台和公交卡手机，其公交卡手机已在上海开展试点应用，通过刷手机可以实现公交车票支付。

可见，在城市发展过程中，通过运用现代化科学技术手段，有针对性地展开试点应用，通过技术与经验的积累。以“先易后难，从点到面，逐步推进”的方式。逐步实现政府信息资源的共享，能够有效提高政府为百姓服务的质量。从而全面提升城市智能化管理水平。

2. 市信息化管理新模式及展望

物联网技术能够有效解决城市发展中遇到的问题，促进城市管理信息化、智能化发展。随着物联网技术解决方案在各领域的试点和应用推广，对于城市中庞大的感知信息，在面向多样化的应用和业务管理时，涉及不同网络、多个部门间的协作，迫切需要建立一个综合的业务管理平台，通过充分运用通信技术手段感测、分析、整台城市运行核心系统的各项关键信息。有效地将各种应用集中于一个系统，支持各种商务智能与决策支撑应用的有效运行，从而在已有的信息化基础上为市民提供更加综合的服务，为政府部门提供更加有效的信息分析和更符合实际的决策，对包括民生、环保、公共安全、城市服务，工商业活动在内的各种需求做出更智能化的响应。

北京时代凌宇科技有限公司，针对物联网应用发展的需求，提出城市综合业务管理平台，其构架如图 11-2-1 所示。在这个平台下，通过标准化的信息接入方式，将不同类型的网络、基础设施和环境建立起信息连接。收集各种异构网络的感知信息，并进行信息综合分类管理，有指向性地进行传输和信息整合，将组织(人)、业务/政务、交通、通信，水和能源各个子系统以协作的方式相互衔接，构成一个宏观的系统，进而将产业链上的各个环节连接在一起；在物联网开放应用环境的支撑下，有针对性地开展行业应用的建设和运营，增加信息资源的共享，从而能够更好地利用综合优势。建设标准开放、系统可靠、互联互通的信息基础设施和创新应用。并联合运营商实现物联网业务运营的基础，有效地提高城市管理效率。

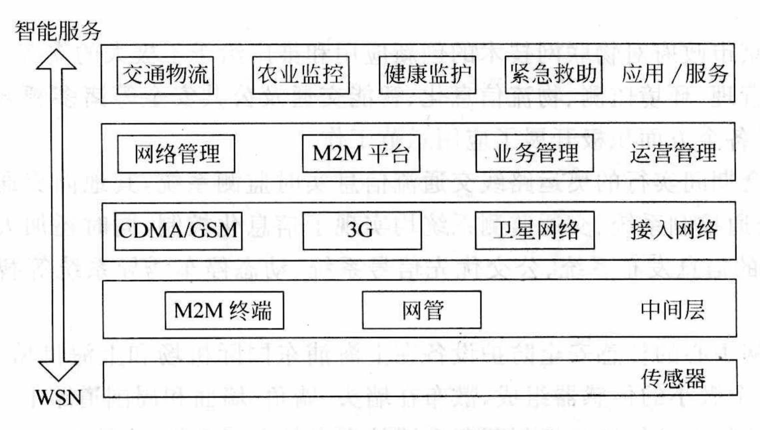


图 11-2-1　城市综合业务管理平台

城市综合业务管理平台通过传感网络层、中间件、接入网络、运营和管理以及应用/服务层，形成了从基础网络到应用创新的可持续循环的服务体系。

感知城市基础信息的传感网构成了城市综合业务管理平台建设和运行的基础。通过遍布城市各处的智能设备，将身份感知、状态感知、位置感知等全面感测数据收集起来，使所有涉及城市运行和城市生活的各个重要方面都能够被有效感知和监测。

传感网的中间件是屏蔽底层硬件差异性和网络平台复杂性、异构性的支撑软件，能够针对不同应用所具有的共同数据需求特征，对数据进行整理和分类，并对各项应用提供规范的数据获取、查询等接口，为进一步简化城市管理应用开发和扩展提供良好的数据抽象。

接入网络是为上层运营管理提供标准开放的、可靠的、互联互通的数据通信的基础，是由基本数据传送网路(DDN、帧中继、ATM 等)、互联网(因特网、大型专用 IP 网络)等通信骨干网络组成，能够使“小而散”的信息汇聚，从而更好地利用综合优势整合信息资源。

运营和管理是由运营商和合作单位共同协作运营管理的数据管理平台。通过采用规范化的技术管理方法，以及全方位、多层次的业务管理、网络管理等手段，支持各种商务智能与决策支撑应用的有效运行，能够满足政府、企事业单位的专业性、专题性的业务需求，方便城市管理者进行信息资源共享、监督和协同管理。

应用和服务是综合性的、面向服务的应用解决方案的集合。通过不断应用创新、业务创新，充分发挥数据和信息的效用，最大可能地实现其社会经济价值，以满足社会各领域众多业务应用需求。

基于城市综合业务管理平台，建立数字市政综合管理与服务系统，典型应用示例如图 11-2-2 所示，孵化出一系列物联网应用项目和产品，并已展开试点应用和推广。

广告牌无线远距离识别管理系统。针对城市基础设施监管所面临的查处非法户外基础设施效率低、监管难度大等问题，为加强户外管理执法力度，以广告牌监管为试点，建立了广告牌智能识别管理系统，针对户外大型广告及墙体广告牌建设有源无线远程识别系统，与区市政管委、区工商局等联合建立信息数据库，实现资源共享，并通过对城管、工商执法部门配发移动检查设备，提升户外广告执法管理水平。

停车场智能监管系统。根据目前停车场监管工具、手段相对单一，没有专门的停车场监管系统，提出了建立朝阳区停车场智能化监管系统试点。结合已展开推广的业务应用(如网格系统、图像系统等)，整台相关资源，利用已有信息基础设施，构建了停车场智能化监管系统。通过为路侧、路内、地下及产权单位停车场设置装有无线识别标签的停车场管理信息牌，使检查人员通过专用扫描设备识别，即可立即获取该停车场的纳税义务人、停车场位置、面积、车位数量、收费标准等信息并判断出其合法性；通过与市、区审批通过的停车场数据信息与城管、网格化管理、交通、街乡、发改委、运管局和税务部门等共享，便于实现协同检查、强化管理，从而减少私设、私增和其他偷税漏税情况；通过信息公开，提高停车场合法性和收费的透明度，发挥市民监督作用。

环卫作业车辆 GPS 管理系统。环卫作业、运输车辆包括垃圾收集车、生活垃圾运输车、转运车、道路清扫车、洒水车、冲刷车、保洁车以及粪便处理车等。通过为环卫作业、运输车辆安装无线定位终端，应用 GPS 定位系统可对作业和运输车辆的线路轨迹、位置、速度实时掌握，并通过与垃圾处理中心数据库进行整台对接，有利于环卫中心合理安排人员、车辆，增强调度指挥能力，及时解决突发问题；也有利于对作业、运输过程进行监督。例如检查垃圾运输车辆是否依照规定路线和速度运达指定消纳场等，有助于提高工作效率。

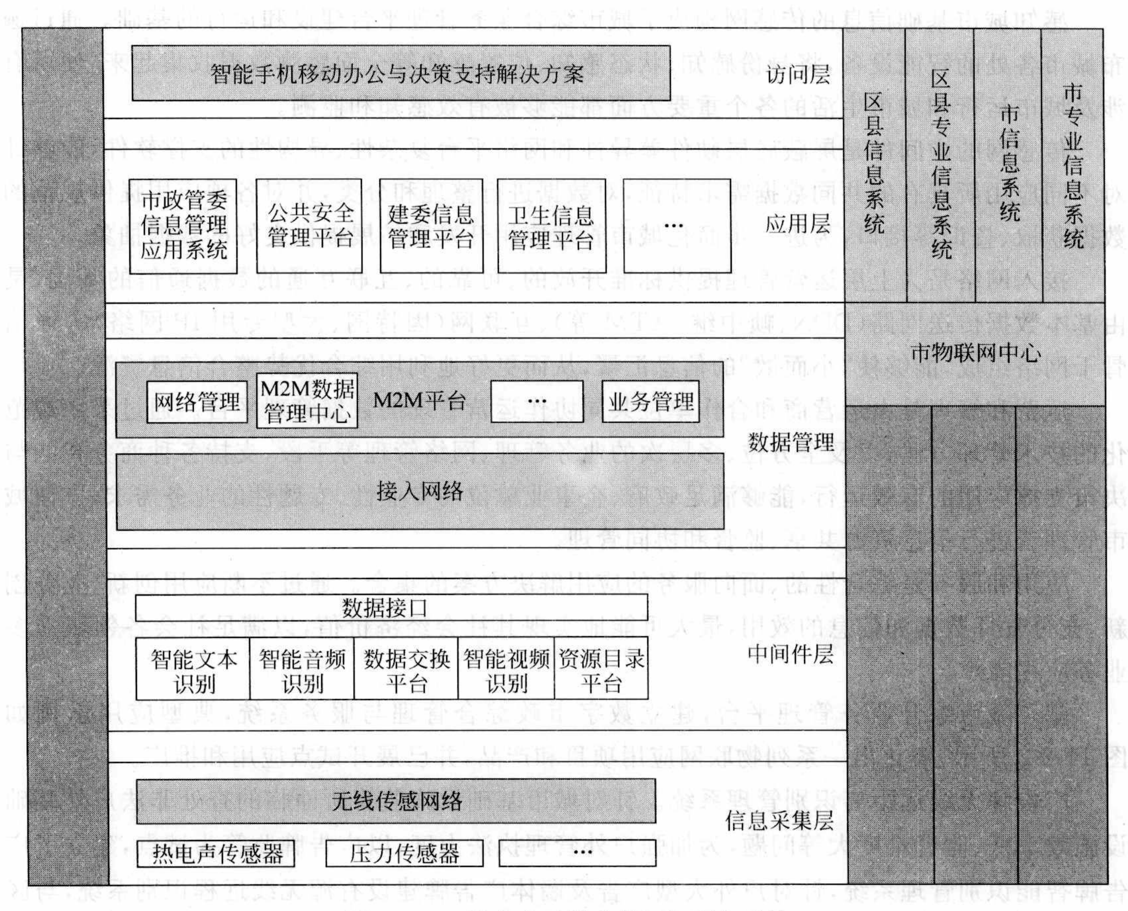


图 11-2-2　数字市政综合管理与服务系统

危险源数据采集及监管系统。建立危险源数据采集及监管系统，实现危险源报警监测"主动式"管理和执法监管水平的提高。通过将数据采集终端放置在危险源上或周围，对危险源的压力、温度、固定牢靠性、危险源的有毒物和可燃物的泄漏等进行实时监测和本地报警。移动巡检设备可收集采集终端数据，并通过 GPRS、CDMA 或 3G 等方式传输至后台系统，进一步实现汇总、分析和共享，从而更好地实现预防和监督，发挥公共安全监管系统的作用。目前的典型应用有电梯运行安全监测，易燃、易爆、有毒环境监测等。

3. 物联网在城市信息化管理中的应用与挑战

物联网是一个具有挑战性的领域。它涉及了器件、设备，系统、网络、服务、商业模式等诸多方面。实现物联网在产业经济和应用方面的目标，尚需做许多深入细致的工作。

标准体系的建立和完善。标准是一种交流规则，关系着城市管理中不同类型网络、基础设施和环境间的信息沟通，需制订能被普遍接受的技术标准及一系列相应的行业应用规范。

泛在网络的资源共享和信息安全。无处不在的网络基础设施建设，使海量的城市基础部件信息自动进入网络。面对市政管理不同部门间的需求，如何实现计算资源、数据资源、软件资源的广泛共享和透明使用，以及涉及的信息安全、法律保护、道德伦理等都将是面临的挑战性问题。

创新网络体制和网络业务研究。城市管理涉及市政、交通、安全、环境等多领域交叉，需

研究新型网络体制，开发相应的支撑环境，以及面向高效能计算的大规模并行应用软件系统。研究网络业务的多维度、多层次和多模态的特征分析、提取、识别等关键技术问题。

商业模式的探讨及建立健全。城市信息化建设将涉及规划、管理、协调、合作等方方面面的问题，资源开发不足，规模化、协同化较少，没有形成产业链，成本居高不下，无法大规模使用，示范效应不强，尚未带来显著的经济效益等问题也是制约物联网技术在城市管理中应用发展的因素，需要进行整体规划管理，研究并建立新的商业应用模式。

物联网是城市发展通向智能化的桥梁。建立城市智能化管理将是城市信息化的终极目标和战略方向。以此作为城市发展瓶颈的突破口，将带来未来城市的全新面貌，推进城市和谐发展。

11.3 交通方面

11.3.1 概述

智能交通系统(intelligent transportation system，ITS)是未来交通系统的发展方向，它是将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子传感技术、控制技术及计算机技术等有效地集成运用于整个地面交通管理系统而建立的在大范围内、全方位发挥作用的，实时、准确、高效的综合交通运输管理系统。ITS 可以有效地利用现有交通设施，减少交通负荷和环境污染，保证交通安全，提高运输效率，因而，日益受到各国的重视。

21 世纪将是公路交通智能化的世纪，人们将要采用的智能交通系统，是一种先进的一体化交通综合管理系统。在该系统中，车辆靠自己的智能在道路上自由行驶，公路靠自身的智能将交通流量调整至最佳状态。借助于这个系统，管理人员对道路、车辆的行踪将掌握得一清二楚。

1. 提出问题

我国经济的快速发展极大地提高了人们的生活水平，但是随之而来的一些问题也不容忽视。其中一个非常严重的问题就是交通拥堵问题，如图 11-3-1 所示，而且近几年严重的交通拥堵问题不仅仅局限于大城市，在二线甚至三线城市也开始蔓延。根据中国汽车协会 2010 年所发布的数据，2009 年中国全年的汽车销售量达 1364.48 万辆，超过美国成为全球第一，其中乘用车数量为 1033.13 万辆，同比增长 53%。而去年全国公路增长里程共计 9.8 万 km，同比下降 33%。二者之间的这种不均衡的发展和增长速度导致了一系列的问题，比如交通安全事故频发、城市居民乘车出行不便、上下班时间增加等。众所周知，制造业是我国的支柱产业之一，我们需要汽车工业来大力发展我国的经济；而扩建公路虽然能在短时间内迅速拉动 GDP 的增长，并且能够缓解交通拥堵的问题，但是从长远来看这一举措并不是一种可持续的发展方式，而且这种解决交通拥堵问题的方式已经遇到了无法突破的瓶颈。因此这一系列的问题不能简单地靠抑制汽车消费或者盲目扩建公路来解决。

2. 基于物联网解决问题探讨

(1) 问题的研究

基于对以上问题的考虑，为了充分发挥公交调度指挥中心的“智能”作用，解决重大或突发事件情况下，如举办国家级、省级的大型活动，采取交通管制的措施时，以及碰上恶劣天



图 11-3-1 交通拥堵现象

气，上下班时间的道路拥堵、公交车辆的久候不到站等问题，以方便市民出行，有研究采用基于物联网及其相关技术来对智能公交系统进行设计。设计方案不仅能够支持传统的拍照、录像监控功能，而且能够支持新兴物联网的一系列相关技术和功能。通过对现有公交系统的改进设计，达到提高公交系统的自动化程度和公交线路规划水平和管理水平，提升运行效率和服务便捷性，从而提高顾客感知度，进而达到提高居民公交出行率，改善交通状况的目的。

(2) 方案分析和设计

该方案通过对现有公交管理系统及相关国家规定进行分析，得出其主要需求是对公共交通资源数据进行高效的管理和维护，在此基础上实现为公交客户提供车辆快速安全救援、安防监视、实时定位、实时调度、报警求助、呼叫中心、信息查询、路线优化计算、历史路径回放等通用功能，以及更多个性化需求的支持，最终实现公交管理智能化。

(3) 解决方案的总体结构

该方案主要采用 RFID 技术和 3G 网络技术，结合 GPS、GIS、视频摄像技术等传统技术，以新兴物联网为背景对前面所提到的相关问题提出总体解决方案。图 11-3-2 为该解决方案的总体结构图。

① 信息载体

在该方案中，RFID 标签是主要的信息载体，分别用于公交站牌、公交车运行线路和乘客手机上。由于公交车辆在进入某个站点时，通常与站牌之间有 2～3m 距离。因此，为了保证外部 RFID 标签和读写器的工作距离可用，标签应当有电源辅助，而主动式标签价格偏高，因此该本方案采用 BAP 式标签。BAP 式标签比纯被动式标签和主动式标签有诸多好处，例如比被动式标签有更好的敏感性，比主动式标签拥有更长的电池寿命(为 5～10 年，而主动式标签为 2～4 年)，可以利用辅助电源启动其主动功能等。另外，由于 BAP 式标签可以携带存储更多的数据，因此通过该方案可以实现公交车在特定时间和地点显示特定广告的功能，同时 BAP 标签也支持主动数据记录功能，可以通过将传感器与标签相集成，比如将温度传感器与标签相集成，这样通过车载 RFID 读写器读取 BAP 标签的数据，乘客就可以及时了解户外温度。

利用 RFID 标签还可以实现其他功能，比如精确的实时定位功能，可以将 RFID 标签嵌

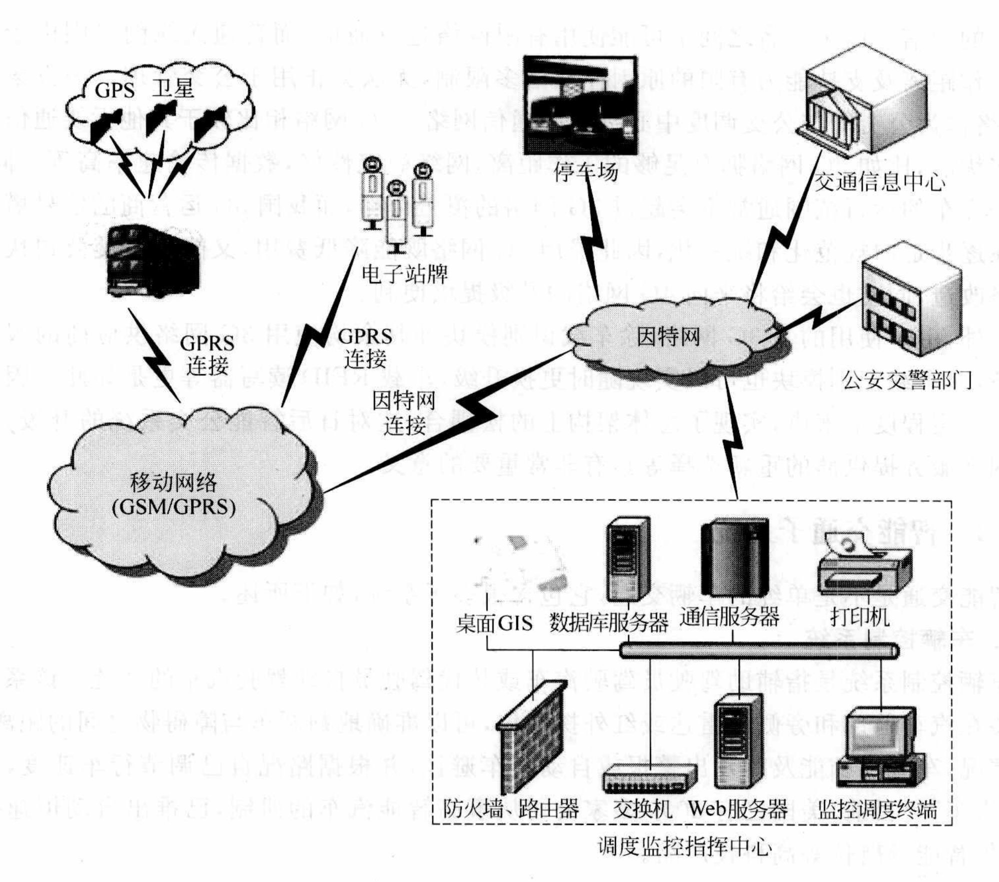


图 11-3-2 智能公交系统总体结构图

入到公交线路周围的建筑或者设施中从而可以及时了解公交车的位置，并且实现弯道提醒、路线提醒等功能。而且由于带辅助电源的 RFID 标签能够实现数据的主动存储功能，因此历史路径回放功能也可以实现。同时，与 GPS 和 GIS 相结合，在特定情况下，比如重大活动等，也能提供路线优化。

公交车内部 RFID 应用主要是用于一卡通和乘客身份管理。通过将 RFID 标签与个人手机的集成以及个人手机实名制的实现，公交车就可以通过其内部的 RFID 读写器实现公交乘客一卡通消费，并且由于 RFID 标签中包含有个人相关信息，因此在乘客进行一卡通消费的同时，也可以实现乘客身份的确认和管理。目前，中国移动正在进行一个基于通信系统的物联网应用项目的研发工作，该项目将 RFID 标签与手机相集成，以手机钱包应用为基础，提供相应的基于移动通信网络的增值服务，其中该项目的一个重要服务内容就是支持公交刷卡。

另外，如果有需要的话，可以将公交站牌的液晶显示屏与公交调度中心的平台通过网络连接起来。由于在公交车运行路线的特定位置装有 RFID 标签，因此，公交调度中心可以及时了解公交车现在行驶的位置，从而计算出公交车到某一站点的距离和时间，进而通过公交站点的液晶显示屏为乘客及时提供相关信息。

② 通信网络

在智能公交系统方案中，通信网络是一个非常重要的方面，尤其是公交车与公交调度中

心之间的通信。由于二者之间不可能使用有限网络进行通信，而普通无线网络则由于费用或者工作距离及支持能力有限的原因存在诸多限制，无法真正用于公交管理。该方案采用3G网络作为公交车与公交调度中心之间的通信网络。3G网络相比较于其他无线通信网络有诸多优点，比如3G网络拥有足够的工作距离，网络稳定性好，数据传输速率高等。同时，由于公交车的运行范围通常不会超过3G网络的覆盖范围，而我国3G运营商的信号塔标准也正在逐步走向规范化和统一化，因此采用3G网络既能降低费用，又能让公交公司快速实现网络改造，同时也会给将来向4G网络的升级提供便利。

另外，由于使用的是3G网络，除车载识别模块外其余均使用3G网络供应商的服务器和设备，而车载识别模块也可以实现随时更换升级，车载RFID读写器等更是如此。因此该方案从一定程度上来讲，实现了总体架构上的松耦合，这对日后智能公交系统的升级、改建以及网络服务提供商的重新选择等具有非常重要的意义。

11.3.2 智能交通子系统

智能交通是不是单纯的车辆交通，它包含很多子系统，如下所述。

1. 车辆控制系统

车辆控制系统是指辅助驾驶员驾驶汽车或替代驾驶员自动驾驶汽车的系统。该系统通过安装在汽车前部和旁侧的雷达或红外探测仪，可以准确地判断车与障碍物之间的距离，遇紧急情况，车载电脑能及时发出警报或自动刹车避让，并根据路况自己调节行车速度，人称“智能汽车”。目前，美国已有3000多家公司从事高智能汽车的研制，已推出自动恒速控制器、红外智能导航仪等高科技产品。

2. 交通监控系统

交通监控系统类似于机场的航空控制器，它在道路、车辆和驾驶员之间建立快速通信联系。哪里发生了交通事故。哪里交通拥挤，哪条路最为畅通，该系统会以最快的速度提供给驾驶员和交通管理人员。

3. 运营车辆高度管理系统

运营车辆高度管理系统通过汽车的车载电脑、高度管理中心计算机与全球定位系统卫星联网，实现驾驶员与调度管理中心之间的双向通信，来提供商业车辆、公共汽车和出租汽车的运营效率。该系统通信能力极强，可以对全国乃至更大范围内的车辆实施控制。目前，行驶在法国巴黎大街上的20辆公共汽车和英国伦敦的约2500辆出租汽车已经在接受卫星的指挥。

4. 旅行信息系统

旅行信息系统是专为外出旅行人员及时提供各种交通信息的系统。该系统提供信息的媒介是多种多样的，如计算机、电视、电话、路标、无线电、车内显示屏等，任何一种方式都可以。无论你是在办公室、大街上、家中、汽车上，只要采用其中任何一种方式，你都能从信息系统中获得所需要的信息。有了该系统，外出旅行者就可以“眼观六路，耳听八方”了。

5. 先进的交通信息服务系统(ATIS)

ATIS是建立在完善的信息网络基础上的。交通参与者通过装备在道路上、车上、换乘站上、停车场上以及气象中心的传感器和传输设备，向交通信息中心提供各地的实时交通信息；ATIS得到这些信息并通过处理后，实时向交通参与者提供道路交通信息、公共交通信

息、换乘信息、交通气象信息、停车场信息以及与出行相关的其他信息；出行者根据这些信息确定自己的出行方式、选择路线。更进一步，当车上装备了自动定位和导航系统时，该系统可以帮助驾驶员自动选择行驶路线。

6. 先进的交通管理系统(ATMS)

ATMS有一部分与ATIS共用信息采集、处理和传输系统，但是ATMS主要是给交通管理者使用的，用于检测控制和管理公路交通，在道路、车辆和驾驶员之间提供通信联系。它对道路系统中的交通状况、交通事故、气象状况和交通环境进行实时的监视，依靠先进的车辆检测技术和计算机信息处理技术，获得有关交通状况的信息，并根据收集到的信息对交通进行控制，如信号灯、发布诱导信息、道路管制、事故处理与救援等。

7. 先进的公共交通系统(APTS)

APTS的主要目的是采用各种智能技术促进公共运输业的发展，使公交系统实现安全便捷、经济、运量大的目标。如通过个人计算机、闭路电视等向公众就出行方式和事件、路线及车次选择等提供咨询，在公交车站通过显示器向候车者提供车辆的实时运行信息。在公交车辆管理中心，可以根据车辆的实时状态合理安排发车、收车等计划，提高工作效率和服务质量。

8. 货运管理系统

货运管理系统指以高速道路网和信息管理系统为基础，利用物流理论进行管理的智能化的物流管理系统。综合利用卫星定位、地理信息系统、物流信息及网络技术有效组织货物运输，提高货运效率。

9. 电子收费系统(ETC)

ETC是目前世界上最先进的路桥收费方式。通过安装在车辆挡风玻璃上的车载器与在收费站ETC车道上的微波天线之间的微波专用短程通信，利用计算机联网技术与银行进行后台结算处理，以达到车辆通过路桥收费站不需停车而能交纳路桥费的目的，且所交纳的费用经过后台处理后清分给相关的收益业主。在现有的车道上安装电子不停车收费系统，可以使车道的通行能力提高3～5倍。

10. 紧急救援系统(EMS)

EMS是一个特殊的系统，它的基础是ATIS、ATMS和有关的救援机构和设施，通过ATIS和ATMS将交通监控中心与职业的救援机构联成有机的整体，为道路使用者提供车辆故障现场紧急处置、拖车、现场救护、排除事故车辆等服务。具体包括：

(1) 车主可通过电话、短信、翼卡车联网3种方式了解车辆具体位置和行驶轨迹等信息；

(2) 车辆失盗处理：此系统可对被盗车辆进行远程断油锁电操作并追踪车辆位置；

(3) 车辆故障处理，接通救援专线，协助救援机构展开援助工作；

(4)交通意外处理，此系统会在10s后自动发出求救信号，通知救援机构进行救援。

11.3.3 停车场管理

1. 研究停车场管理系统的背景需要

随着社会的进步和发展，人们的生活方式发生着深刻的变化。生活水平更是蒸蒸日上，越来越多的人加入到“有车一族”的行列当中，我们已经明显感觉到当今动车数量的激增，不

仅道路拥堵问题逐渐显现与加剧，城市停车难也成为机动车数量增长的并发症，特别是在大型城市中心区域，高峰时段与周末出现了“一位难求”的情况，这些都给人们的日常生活带来了极大的不便。一些城市管理部门虽尽量采用增加供应的方式缓解停车问题，但收效有限，并且导致了停车管理成本增加。如何让停车更有效率，更加智能化，是亟待解决的问题。目前物联网的高速发展，为实现停车场管理智能化提供了可能，有些城市甚至已经开始布施使用。

2. 停车场管理概念

停车管理，是针对住宅小区、写字楼和商业设施的管理需要，以住宅小区、写字楼和商业设施的停车场智能化管理为目标，重点以住宅小区、写字楼和商业设施内购买月租、月卡的固定停车用户为服务对象，以达到停车用户进出方便、快捷、安全，物业公司管理科学高效、服务优质文明的目的。对提高物业管理公司的管理层次和综合服务水平方面将起重要的作用。

3. 智能停车场与传统停车场比较

传统的停车场管理系统重点均放在计费、收费管理功能上，关注的是各个车辆进出的时间以便于收费，而在停车场的安全性、运行效率和针对顾客的人性化要求方面考虑得较少。

而智能停车场管理系统，在实现车辆自动识别和信息化管理，提高车辆的通行效率和安全性，统计车辆出入数据，方便管理人员进行调度，减轻管理人员的劳动强度，提高管理人员工作效率方面有着明显的改善。智能停车场管理系统既保留了传统停车场管理系统的所有功能，又以原有收费介质为依托，对管理介质进行了改进。当车辆进入停车场时，系统自动摄取车辆图像，经计算机处理后得到车辆型号信息、车辆牌照信息、车辆颜色信息，并将这些信息与用户卡唯一地对应起来一同存入数据库中。当车辆驶离停车场时，用户卡、车牌号码或车辆图像等相关指标匹配后才能放行。系统采用“一车一卡一位”的管理模式，即从车辆进入停车场一直到车辆驶离停车场，与这辆车相关的所有数据均与卡的ID号唯一相关，通过这个唯一的ID号，可以将诸如用户信息、车辆型号信息、车辆牌照信息、车辆颜色信息、车辆图像、车辆进出场时间、停车时长、指定停车位编号、泊车路径、应缴费用等信息在数据库中统一起来，便于查询和存储。这样便使收费管理、泊车引导和车辆识别安全监控子系统的数据信息建立在同一个数据平台上，将各子系统有效地集成为一个统一的停车场智能管理系统。

4. 物联网相关技术

射频识别系统由电子标签、读写器、计算机通信网络3部分组成。

(1) 电子标签：电子标签存储着需要被识别物品(物体)的相关信息，通常放置在需要识别的物品(物体)上，它所存储的信息通常可被射频读写器通过非接触方式读/写获取。

(2) 读写器：读写器是可以利用射频技术读/写电子标签信息的设备。读写器读出的标签信息可以通过计算机以及网络系统进行管理和信息传输。

(3) 计算机通信网络：在射频识别系统中，计算机通信网络通常用于对数据进行管理，完成通信传输功能。读写器可以通过标准接口与计算机通信网络连接，以便实现通信和数据传输功能。

RFID的应用非常广泛，目前典型的应用有动物晶片、汽车晶片防盗器、门禁管制、停车场管制、生产线自动化、物料管理等。

5. 基于物联网技术的智能停车场系统

基于物联网技术的智能停车系统具有如下特点：稳定可靠的硬件设备、灵活的系统配置、强大的数据安全性和系统保密性、先进的软件结构等。图 11-3-3 为基于物联网技术的智能停车场系统图。

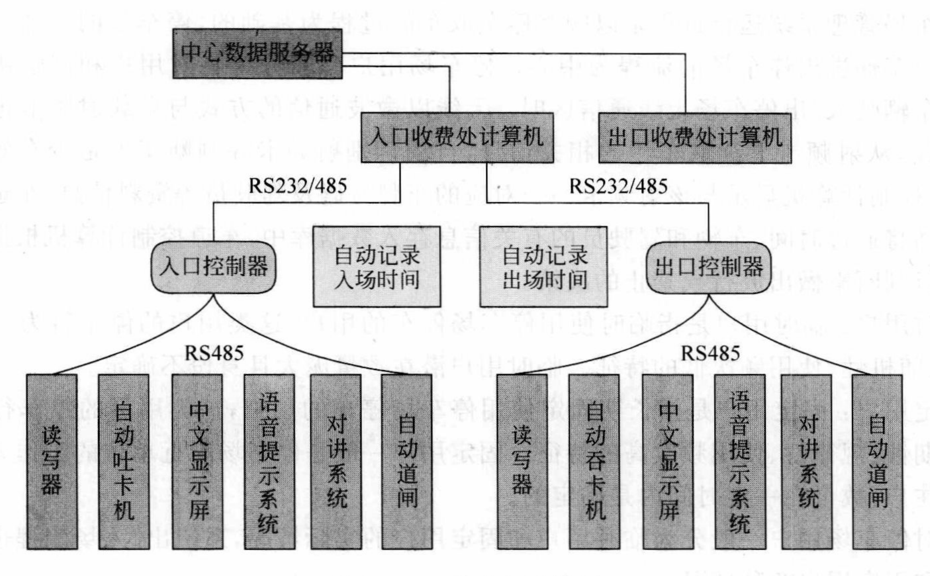


图 11-3-3 停车场系统图

(1) 该系统包括的模块与功能

射频识别卡(RFID)：系统采用最新技术的视频识别卡，实现远距离(15m)对车辆进行识别处理，方便用户快速通行。系统采用视频处理技术，实现对车辆牌照号码进行识别，保持卡车辆与车牌号一致才能放行。

临时卡：主要有磁卡、条码卡、接触式 IC 卡以及同等感应读卡方式的 IC 卡及带有微处理器(CPU)的智能卡等类型。

出入口控制器：是系统与道闸、远距离读写器、地感受线圈、票箱等沟通的桥梁。在车辆进出停车场时，出入口控制器将根据系统下发的指令对各设备进行控制。

智能道闸：阻止或保证车辆的开出或进入。智能道闸能抵御人为抬杆，具有砸车保护、发热保护、时间保护等功能。

数字式车辆检测器：检测是否有车辆要进入或驶出停车场。

电子显示屏：一般装在票箱上，提示系统运行的状态以及有车辆进入系统提示用户进行响应操作。电子显示屏可以显示停车时间、收费金额、卡上金额、卡的有效期等。

对讲系统：出入口票箱都装有对讲系统，以方便工作人员指示、指导用户使用停车场，同时也能方便用户询问有关情况。

语音提示器：语音提示器装在票箱内，以声音的形式提示，指导用户科学地使用智能停车系统。

自动出卡功能：用于临时泊车取卡进场，泊车者驾车至读卡机前，数字式车辆检测自动检测，驾车者按键取卡便可进入停车场(卡上已记录入场信息)，离场时将此卡交值班亭读卡，计算机会自动核时、收费、收卡。

自动识别通行车辆的车票号：当临时车辆入场时，管理员可根据需要，输入车牌号和车辆类型，计算机可进行自动记录，当车辆正在读卡时，计算机会自动显示原车的卡号和车牌号码，从而便于进行出场核对，并根据车辆类型和时间，计算出合理费用。

(2) 停车场系统流程

停车场管理系统运行过程是以顾客停车取车的过程为基础的，停车场的工作流程也始终以用户车辆进出停车场的流程为中心。停车场用户一般分为临时用户和固定用户两大类。当车辆驶入/出停车场天线通信区时，天线以微波通信的方式与车载射频卡进行双向数据交换，从射频卡上读取车辆的相关信息，自动识别射频卡并判断车卡是否有效和合法性，车道控制计算机显示与该射频卡一一对应的车牌号码及驾驶员等资料信息；车道控制计算机自动将通过时间、车辆和驾驶员的有关信息存入数据库中，车道控制计算机根据独到的数据进行判断来做出放行或禁止的决策。

临时用户：临时用户是指临时使用停车场停车的用户，这类用户的停车行为一般具有临时性、随机性、使用频次低的特征。临时用户潜在数量庞大且身份不确定。

固定用户：固定用户是指长期固定使用停车场停车的用户，这类用户的停车行为一般具有长期性、规律性、使用频次高的特征。固定用户一般是停车场附近单位的工作人员或生活区的住户，数量在一定时间内是确定的。

针对停车场用户一般分为临时用户和固定用户的实际情况，系统出/入场流程也分为临时用户和固定用户两种情况。

(3) 临时车辆入场工作流程

临时车辆进入停车场时，设在车道下的车辆感应线圈检测到车辆的到来，将有车信号传送给入口控制器，入口控制器获取车辆到来的信号后，向相关设备发出指令，启动摄像系统和车辆识别系统。经计算机对图像进行处理后，记录车辆的牌照信息、颜色信息、车型信息等。语音提示设备提示用户按动取卡按钮，入口控制器检测到取卡信号后，通过串口给发卡机发送发卡命令。发卡机接到命令后，发出一张临时用户卡，刚才系统所获取的信息即与此卡的 ID 号对应起来，同时语音提示器提示用户取走临时卡。如果用户在规定时间内不取卡，发卡机将自动吞回用户卡，入口控制器取消此次入场操作。用户取走卡后，发卡机发出用户已取走卡的信号给入口控制器，入口控制器抬起栏杆，用户驾车驶入停车场。入口电动栏杆测到配套车辆检测器信号出现“有车—无车”变化后，才自动将栏杆放下，以杜绝砸车事件的发生。入口控制器接收到入口栏杆出现“抬杆—落杆”的动作后，确认本次入场过程已经完成。

(4) 长期卡车辆入场工作流程

当持长期卡的用户车辆进入入口读卡器的感应范围时，读卡器即与射频卡之间建立起信息交换系统，射频卡向读卡器发送卡信息，读卡器判断射频卡的合法性和时间有效性，如有效则获取射频卡的 ID 号，并将其上送至数据处理中心。同时，摄像系统和车辆识别系统将启动摄入车辆图像，经车辆识别系统分析后，获得牌照信息、颜色信息、车型信息等；数据处理中心根据读卡器上传的 ID 号，查询数据库中与此 ID 号相关的车辆信息，并与刚才实时获取的信息进行比对，若不符合则拒绝放行，同时给出告警信息和出错提示信息。另外，数据处理中心还会检查此固定卡是否过期。若符合条件，则给入口控制器一个有效信号，抬起栏杆，用户驾车驶入停车场。入口电动栏杆检测到配套车辆检测器信号出现“有车—无车”

变化后，将栏杆放下。入口控制器接收到入口栏杆出现“抬杆—落杆”的动作后，确认本次入场过程已经完成。由于长期卡与读卡器的信息交换距离从十几米到数十米，并且都是在空间里完成的，时间花销短，所以当车辆到达入口时，电动栏杆已经抬起，这样便实现了固定用户的不停车操作。

（5）临时车辆出场工作流程

用户驾驶车辆进入停车场离场通道，停在出口处，车辆检测器检测到有车后，向出口控制器发出有车信号。摄像系统和车辆识别系统启动，摄入车辆图像，经车辆识别系统分析后，获得牌照信息、颜色信息、车型信息等；用户将入场时取得的用户卡交给管理人员，管理人员通过出口读卡机读取用户卡 ID 信息，并将用户卡收回循环使用。数据中心通过检索数据库中对应 ID 号，获得该用户卡的类型（临时卡）、入场时间，并查询数据库中与此 ID 号相关的车辆信息，与刚才实时获取的信息进行比对，若不符合则拒绝放行，并给出告警信息和出错提示信息。若符合，数据中心根据车辆在场内停留时间和计费费率，计算出用户应缴费额，同时显示在金额显示器屏幕上，语音提示设备提示用户应缴纳的金额，用户交纳相应费用后，管理人员将通过出场控制器打开出口电动栏杆，用户驾车驶出停车场。出口电动栏杆检测到配套车辆检测器信号出现“有车—无车”变化后，自动将栏杆放下。计算机接收到出口栏杆出现“抬杆—落杆”动作后，确认本次出场过程已经完成，将先前获得的用户卡号、入场时间、出场时间保存到相应数据库中备查，完成一次出场过程。

（6）长期卡车辆出场工作流程

持长期卡用户的车辆到达停车场出口时，读卡器获取该卡的信息，将信息上送到数据处理中心，启动车辆图像识别系统，判断用户卡的有效性和密码，并将数据中心查询到的信息与此 ID 号相关的车辆信息与车辆识别系统获取的信息进行比对，如果符合，则给出口控制器一个有效信号，由出口控制器控制抬起出口电动栏杆，用户驾车离开停车场，完成一次出场过程。

11.4　工业方面

11.4.1　概述

物联网的关键环节可以归纳为全面感知、可靠传送、智能处理。全面感知是指利用射频识别（RFID）、GPS、摄像头、传感器、传感器网络等感知、捕获、测量的技术手段，随时随地对物体进行信息采集和获取。可靠传送是指通过各种通信网络、互联网随时随地进行可靠的信息交互和共享。智能处理是指对海量的跨部门、跨行业、跨地域的数据和信息进行分析处理，提升对物理世界、经济社会各种活动的洞察力，实现智能化的决策和控制。相比互联网具有的全球互联互通的特征，物联网具有局域性和行业性特征。

工业是物联网应用的重要领域。具有环境感知能力的各类终端、基于泛在技术的计算模式、移动通信等不断融入工业生产的各个环节，可大幅提高制造效率，改善产品质量，降低产品成本和资源消耗，将传统工业提升到智能工业的新阶段。从当前技术发展和应用前景来看，物联网在工业领域的应用主要集中在以下几个方面。

（1）制造业供应链管理：物联网应用于企业原材料采购、库存、销售等领域，通过完善

和优化供应链管理体系，提高供应链效率，降低成本。空中客车(airbus)通过在供应链体系中应用传感网络技术，构建了全球制造业中规模最大、效率最高的供应链体系。

(2) 生产过程工艺优化：物联网技术的应用提高了生产线过程检测、实时参数采集、生产设备监控、材料消耗监测的能力和水平。生产过程的智能监控、智能控制、智能诊断、智能决策、智能维护水平不断提高。钢铁企业应用各种传感器和通信网络，在生产过程中实现对加工产品的宽度、厚度、温度的实时监控，从而提高产品质量，优化生产流程。

(3) 产品设备监控管理：各种传感技术与制造技术融合，实现对产品设备操作使用记录、设备故障诊断的远程监控。GE 集团在全球建立了 13 个面向不同产品的 i-Center，通过传感器和网络对设备进行在线监测和实时监控，并提供设备维护和故障诊断的解决方案。

(4) 环保监测及能源管理：物联网与环保设备的融合，实现了对工业生产过程中产生的各种污染源及污染治理各环节关键指标的实时监控。在重点排污企业排污口安装无线传感设备，不仅可以实时监测企业排污数据，而且可以远程关闭排污口，防止突发性环境污染事故的发生。电信运营商已开始推广基于物联网的污染治理实时监测解决方案。

(5) 工业安全生产管理：把感应器嵌入和装备到矿山设备、油气管道、矿工设备中，可以感知危险环境中工作人员、设备机器、周边环境等方面的安全状态信息，将现有分散、独立、单一的网络监管平台提升为系统、开放、多元的综合网络监管平台，实现实时感知、准确辨识、快捷响应、有效控制。

下面就介绍与人们日常生活息息相关的几个物联网工程的应用实例。

11.4.2 汽车工业

近些年，加入射频物联网技术的汽车工业成为物联网工程应用中的一个重要分支。在当今世界工业高度发展的时刻，物联网工程在汽车工程上的应用正处于萌芽到成熟的关键阶段。试想一下，你开门上车，系好安全带，然后说出目的地，出发！之后就可以舒服地坐在椅子上看书品茗，听歌赏景，完全不用理会方向盘、刹车和油门踏板，这时候，开车的不是司机，而是汽车自己。这一幕，像极了科幻片，似乎只能在电影中才能实现。但事实上，物联网的技术发展正在促使梦想与现实距离不断的缩短。自 20 世纪 90 年代提出智能交通以来，“车-路”信息系统一直是车联网发展的重点领域。如美国的 IVHS(智能车辆高速公路，intelligent vehicle highway system)和日本的 VICS(道路交通情报通信系统，vehicle information and communication system)等都取得了非常快的发展。谷歌实验开发一款能够基本取代驾驶员控制车辆的人工智能软件，包括一辆代号“Google Fleet 1”在内的 7 辆试验车，至今已经行驶了 22.5 万多公里，穿越过举世闻名的旧金山金门桥、市内起伏不定及陡斜的街道，往来在 Google 不同的办事处。这样实验的成功，完全依靠与汽车物联网工程的应用实现。

物联网工程在汽车工业中的应用，是以车为节点和信息源，通过无线通信等技术手段获取车本身以及车外部等属性，并加以有效利用，从而达到“人-车-路-环境”的和谐统一的新兴物联网工程，一般称为“车联网”工程。车联网工程的发展，将使人们的生活方式和生活空间被重新塑造，也让传统的汽车与交通概念被彻底颠覆。2010 年 10 月，中国国际物联网(传感网)博览会，决定将车联网项目列为我国重大专项第三专项的重要项目。可见车联网对我们未来生活发展的重要影响。

作为物联网的重要分支,在汽车行业的应用是将多种先进技术有机地运用于整个交通运输管理体系,而建立起的一种实时的、准确的、高效的交通运输综合管理和控制系统,及由此衍生的诸多增值服务,其中包括传感器技术、数据处理技术、自动控制技术、通信技术、信息发布技术和网络技术等众多硬件与软件交接的技术应用。

就目前研究状况而言,车联网的应用发展主要包括以下几个方面:主动行车信息收集与管理、救援服务、远程诊断及控制、智能交通信息管理、汽车标签识别、车载娱乐等。

1. 主动行车信息收集与管理

汽车在行驶过程中,车载电脑集合众多部件的行驶信息,并将它们综合处理,为行驶提供有效安全的保证。智能的行车安全系统会提取车载电脑所收集的汽车各部分的行驶信息,并且定期自动给车辆做一次"健康检测",如图 11-4-1 所示,包括轮胎胎压、机油寿命、电子系统状况等,然后将汽车累计的行驶信息进行分析整理,上传网络并以邮件等方式通知车主,使得车主了解汽车的总体情况。同时也将信息发送给车主指定的 4S 店,让 4S 店及时了解车辆的损耗信息,在有需要的情况下通知车主对汽车进行维护,使其服务由被动转变成为了主动,建立了良好、方便、高效的沟通平台,实现自助化的维修保养模式,使得各方面利益最大化。

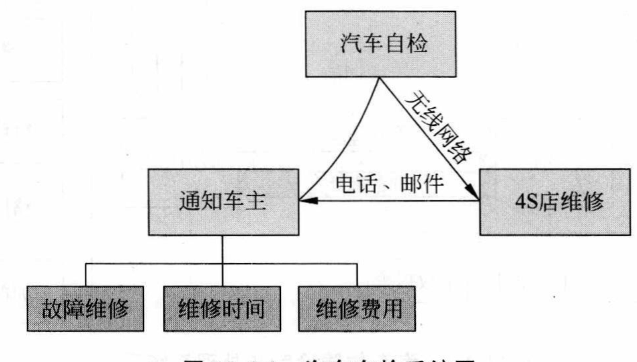


图 11-4-1 汽车自检系统图

2. 救援服务

汽车道路救援服务要求车辆装备包括中央处理、紧急情况感应、卫星定位、车辆信息收集以及无线数据通信等处理模块。如图 11-4-2 所示,当车辆发生事故时,紧急情况感应器向中央处理模块发送紧急救助信号;中央处理模块通过卫星定位模块以及车辆信息存储模块收集车辆位置信息以及车辆辅助信息,并打包整合,通过无线数据通信发送给预置的救助联络对象,寻求救援。使得在事故发生后,车主及时得到救助。

例如,2010 年 5 月,在河南省漯河市,一辆车发生碰撞事故,事故车辆当即自动拨打了 110 报警电话并自动传送了事故现场的精确坐标,车主报告了受伤情况后仅 15min 就得到了紧急救援。

3. 远程诊断及控制

在北美洲,部分地区已经引入车辆远程控制系统,一驾驶者驾驶汽车在高速公路上狂飙时,警方可通过远程操作迫使车辆减速。虽然这项服务在国内还未开展,但很多远程诊断控制的服务已经应用于很多方面了,如图 11-4-3 所示。

远程诊断及控制是由车主主动地通过远程服务对车辆进行控制。包括对车辆灯光、汽

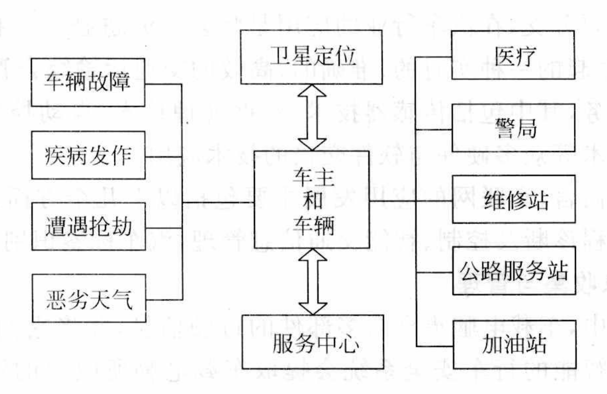


图 11-4-2　救援系统图

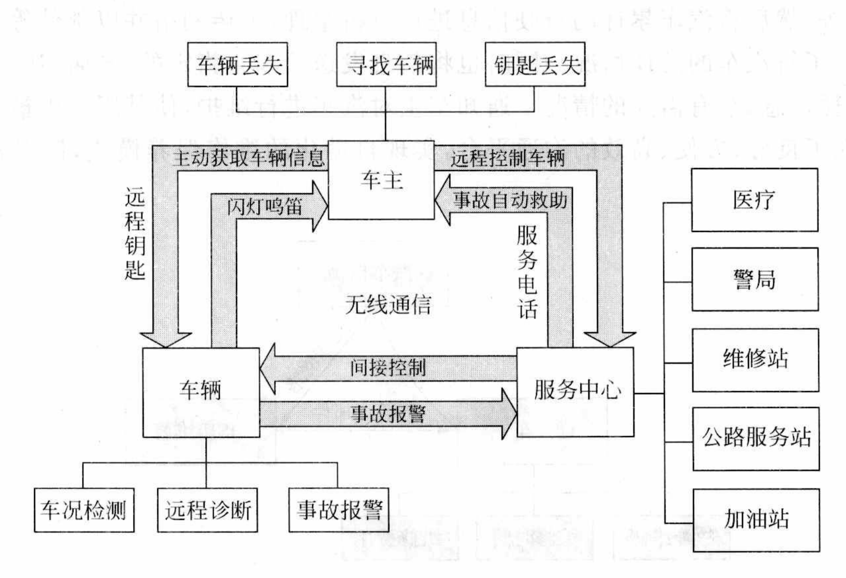


图 11-4-3　汽车故障诊断和处理系统图

笛的控制，车辆的定位，车门开闭锁等远程服务。

例如知名汽车智能服务“安吉星”，在去年一年内通过定位系统协助警方追回 45 辆被盗车辆；并且为 13000 位丢失钥匙的车主提供了车门远程开启服务。在车主忘记停车位置时还可以通过远程钥匙控制车辆闪灯鸣笛，帮助车主快速找到车辆。

4. 智能交通信息管理

未来智能城市通过“车联网”，如图 11-4-4 所示，汽车具备了高度智能的车载信息系统，并且可以与城市交通信息网络、智能电网以及社区信息网络全部连接，将道路信息、城市信息、车辆行驶情况等传递到车主处，从而可以随时随地获得即时资讯，选择最近路线或最快路线，做出与交通出行有关的明智决定。

在用户输入目的地后，系统连接 GPS 获取即时位置信息，计算出合理的路线规划选项，再结合当地提供的路况信息，掌握前方路况，自动进行路线优化，规避拥堵线路，整合分析出最佳路线。

在公共交通方面，将每辆公交车上都安装 GPS 模块，通过信息中心的电子地图，调度人员可根据车况、交通情况等调整车辆运行情况，如图 11-4-5 所示。如前后两辆车出现大间

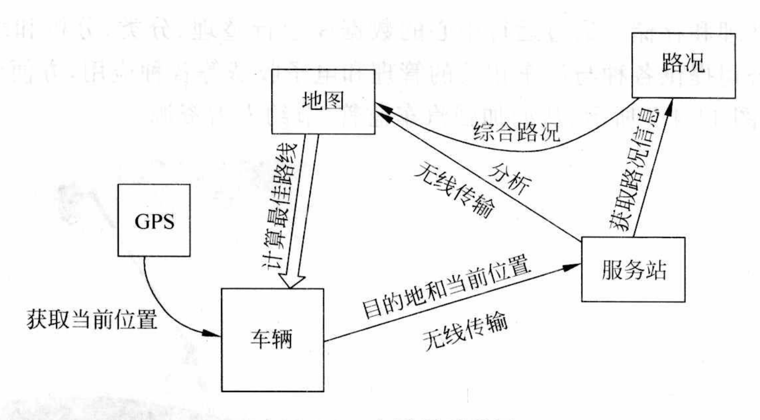


图 11-4-4 车联网系统图

隔，调度中心将加快发车频率，实现调度的智能性。车辆如果出现抛锚、事故、拥堵等都可以随时向调度中心发出信息以得到及时处理。同时，在公交车站的电子站牌上显示预计下一辆车的到达时间等信息，这给人们的公共出行带来了极大的方便。现在很多西方发达国家已经实现了公交车站精确显示公交车定位、运行状况及预计到达时间，我国在上海、杭州等一些城市也逐步推行这种公交方案。

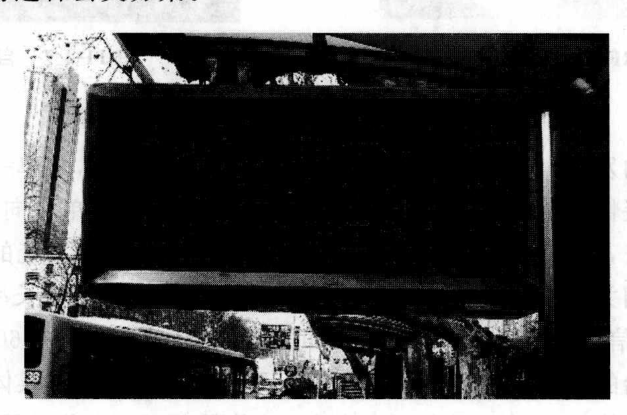


图 11-4-5 智能显示

5. 汽车标签识别

提高交通管理水平，消除或减轻交通拥挤和堵塞已成为全世界关注的问题。汽车电子标签系统在可靠性、作用距离、数据存储和多卡识别能力等方面，能满足交通管理的要求，相比其他智能交通管理系统，它是一个低投入、低维护、高效益的系统。所谓电子标签系统是使用 RFID 射频识别技术，对车辆进行电子身份管理。如图 11-4-6，其应用要求主要包括标签内承载的内容与格式、标签信息读取安全要求和 RFID 设备性能要求等。

RFID 射频识别是将车辆信息存入电子标签，电子标签即可作为电子车牌使用。每一个芯片都有一个唯一的标识码，并利用写保护进行信息加密保护，防非法修改、克隆；能在严寒、潮湿地带、热带地区和粉尘大的场所正常工作；具有超强的抗干扰能力，除物理损坏以及改写次数超限(10 万次)外，允许无限次读，因而其使用寿命无明显限制。电子标签利用各种专用或公众信息网，可在全市、全省以至全国范围内设置控制基站，提供通过基站的每辆汽车的识别号、通过时间和位置，通过网络形成汽车交通信息的采集网，在交通信息处理中

心对信息进行处理和存储。通过运行中心的数据库进行整理、分类、分析和统计，向汽车管理部门和商业公司提供各种与汽车相关的管理和电子收费等各种应用，方便驾驶，实现不停车自动收费，如图 11-4-7 所示，从而加强汽车监管，节约人力资源。

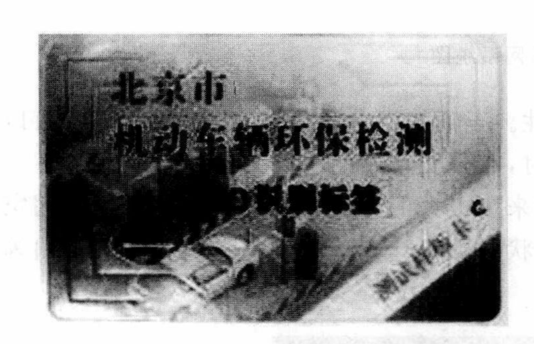


图 11-4-6　RFID 智能识别卡

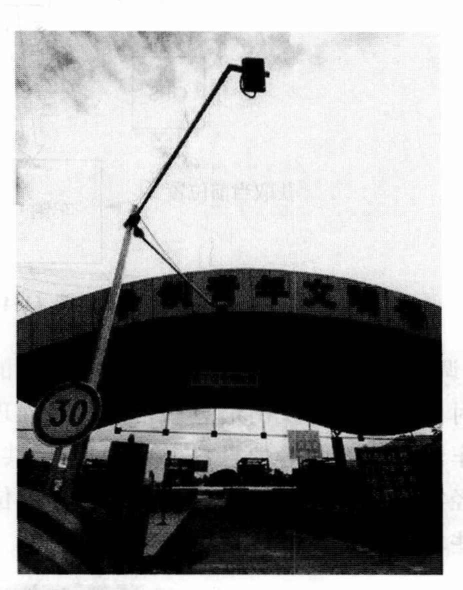


图 11-4-7　自动收费

6. 车载娱乐

经过近 120 年的发展，汽车已经摆脱了纯粹代步工具的地位，从单一功能走向了多功能之路。与汽车的发展情况类似，车载娱乐信息系统同样经历了从单一向多元、多功能的发展过程。特别是近年来，伴随着汽车消费的迅速增长，车载娱乐信息系统的发展显现出异常强劲的上升势头。据相关机构统计，在我国，车载娱乐信息系统的年增长率高达 30%，就全球范围而言，车载娱乐信息系统的市场规模极有可能在 2013 年前突破 360 亿美元大关。车载娱乐设备也从最开始的收音机发展到了现在基于无线网络平台的多媒体时代。

目前车载娱乐系统的发展主要有两个方向，一种是基于 3G 移动网络的智能网络行车系统，另一个就是近期呼声比较大的车载安卓系统娱乐平台。

基于 3G 移动网络的行车系统，通过车载终端、客服中心和云计算网络平台 3 个部分，构建起一个“三位一体”的架构，并通过这 3 个部分的紧密联系和相互协作，为消费者提供集信息、娱乐和服务等诸多内容于一体的、完整的娱乐信息体系，如图 11-4-8 所示。

车载安卓系统娱乐平台，是迎合车主们希望能够像使用智能手机一样，随心所欲地安装或者删除应用软件的要求而新产生的车载娱乐解决方案。它是利用车载电脑和屏幕，基于安卓系统针对娱乐性应用所开发的，是对谷歌安卓系统应用的一种创新扩展。它可以对第三方应用程序进行隔离，并使可信任的第三方应用程序有访问汽车功能软件层的权限，加强了对汽车安全的防范。通过移动无线网络实现近乎于手机的娱乐体验，如图 11-4-9 所示。

当然，车联网的发展前景肯定不限于以上这 6 点。在未来传感器继续发展，互联网不断升级，车联网也必定会被带到更高的高度，汽车与人的交互必定变得更加平顺，未来汽车的智能化不断提高。

智能 3G 车载设备　智能 3G 车载设备　云计算网络平台

用户数据库

客服平台

WCDMA

车载终端　服务器

图 11-4-8　智能车载娱乐系统图



图 11-4-9　车载娱乐系统界面

11.5　智能电网方面

随着全球社会经济的发展，用电需求不断增加，电网规模不断扩大，影响电力系统安全运行的不确定因素和潜在风险也随之增加，而用户对电力供应的安全可靠性和质量要求越来越高，电力发展所面临的资源和环境压力越来越大，市场竞争迫使电力经营者不断提高企业运营效率，21 世纪初智能电网在欧美的发展为全世界电力工业在安全可靠、优质高效、绿色环保等方面开辟了新的发展空间。智能电网提供了一种激励环境：电能消费者和第三方资产的合作，这种合作利用电网设施来控制费用和改善供电的可靠性，启发人们随时随地参与进来；通过实时共享电网的必要数据信息供大家利用，宽带通信的信息网络使信息共享成为现实；智能电网为实现供需合作提供盈利的机会和工具，通过高速、先进的分布式控制和电子商务应用来实现实时数据的显示和提交。智能电网建设是全球在能源领域的重要战略部署，美国、欧洲等都针对智能电网建设制定了战略规划，我国也在智能电网建设上投入大量精力，制定了详细的战略发展规划。物联网应用于智能电网最有可能实现原创性突破、占据世界制高点的领域。智能电网建设将逐步推动我国电力基础生产模式的改变，定位于利用先进的通信、信息和控制技术，构建以信息化、自动化、互动化为特征的国际领先、自主创新、中国特色的智能电网，是电力行业的发展方向。

近年来，随着智能电网概念的提出，许多与智能电网相融合的新技术也不断被提出，其中一个很典型的例子，就是面向智能电网(smart grid)的物联网技术的问世。智能电网与物联网的融合作为一种具有极高战略意义的新型产业技术，被世界各国高度重视，我国也对其极其重视，将物联网、智能电网列为国家战略，并全面部署了众多重大科技项目、示范工程的建设。

物联网技术在智能电网中的应用是网络技术发展到一定程度的必然产物，该技术的应用，能有效地对电力系统基础设施资源进行整合，进而提高电力系统通信水平，改善当前电力系统基础设施的利用率。

11.5.1 面向智能电网的物联网需求

智能电网中一个很重要的部分，就是处于网络末端的传感器，其原理及作用与物联网的感知层是一致的，它是智能电网中具有广泛的应用空间，是实现智能化不可或缺的关键部分。它应用在电网建设、电网安全生产管理、运行维护、信息采集、安全监控、计量及用户交互等各个方面，可以全面提高智能电网各环节的信息感知深度、广度以及密度，提高电力系统的智能化程度，促进“信息流、业务流、电力流的高度融合”的实现。物联网的相应技术广泛应用于电力系统的发、输、变、配、用环节，带来巨大的经济效益和社会效益，如图 11-5-1 所示。

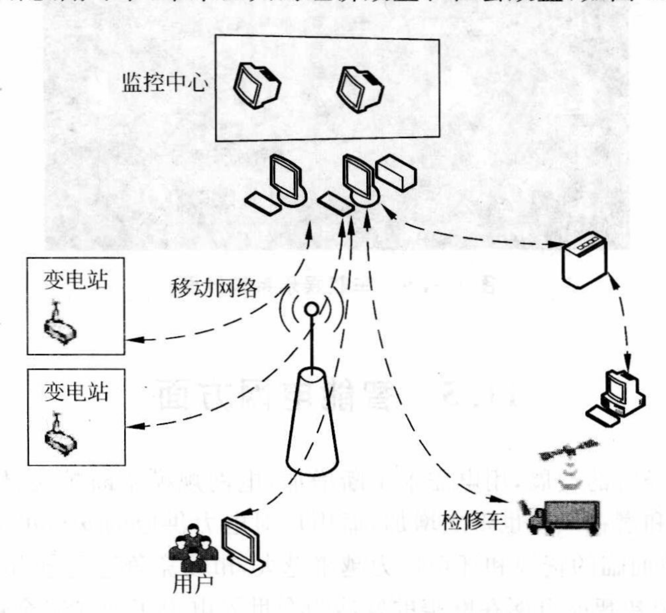


图 11-5-1 物联网在智能电网中的应用

发电机组监控、厂区监控、污染物及气体排放监控、能耗监控、抽水蓄能监控、风电厂监控、功率预测、光伏发电站监控、生物质发电、储能监控、电源接入等方面都需要物联网技术的支持。在输电线路监控、杆塔防护、智能变电站、配电自动化、状态监测、作业与设备管理等方面也对物联网技术有着广泛的应用需求。甚至在智能表计及高级量测、智能用电、多网融合、电动汽车及充电、能效监测与管理、电力需求侧管理等也成为智能电网中物联网技术应用的主要方面。

随着智能电网的建设步伐的不断加快，人们对于智能化用电的需求不断提升。智能家电、智能小区等逐步走入人们的日常生活，这就使得智能电网与物联网相结合的迫切性加

剧，因此将物联网技术应用于智能电网中，是智能电网构建过程中的必然。

11.5.2 物联网在智能电网中应用的基本架构

为了满足物联网的异构需求，物联网需要一个开放的、分层的、可扩展的网络架构。面向智能电网的物联网大致分为感知层、网络层和应用层3个层次，如图11-5-2所示。

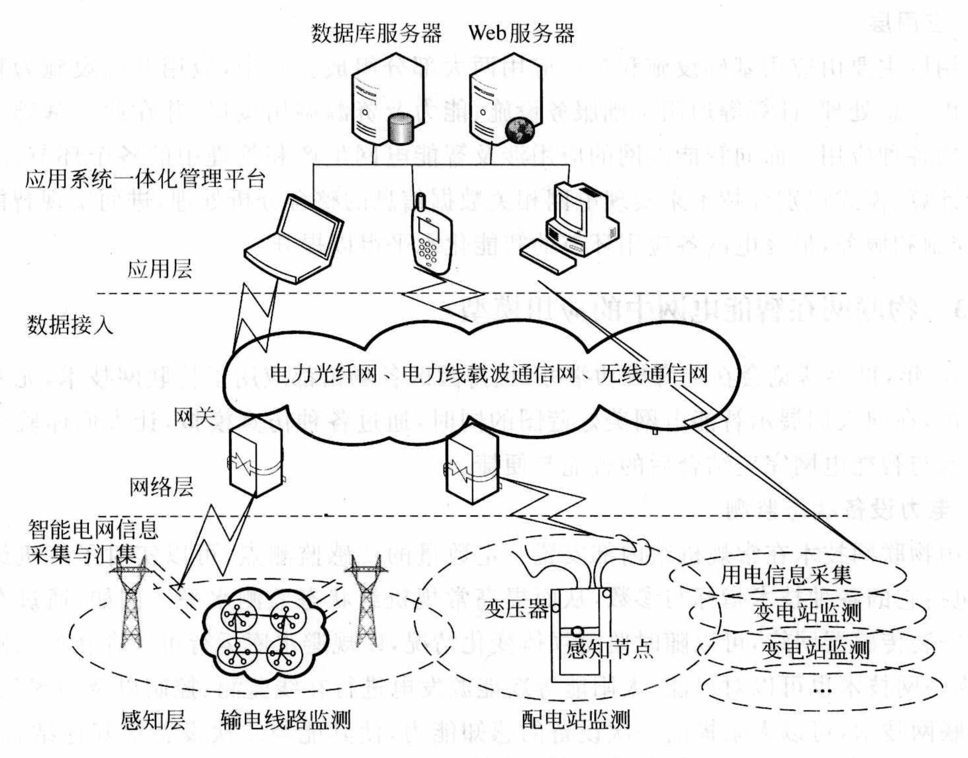


图11-5-2 面向智能电网的物联网架构

1. 感知层

感知层是物联网实现"物物相联，人物互动"的基础，通常分为感知控制子层和通信延伸子层。其中，感知控制子层实现对物理世界的智能感知识别、信息采集处理及自动控制；通信延伸子层通过通信终端模块或其延伸网络将物理实体连接到其上面两层。

具体而言，感知控制子层主要通过各种新型MEMS传感器、基于嵌入式系统的智能传感器、智能采集设备等技术手段，实现对物质属性、环境状态、行为态势等静态或动态的信息进行大规模、分布式的信息获取。通信延伸子层所用技术比较广泛，对于电网的监控数据基本采用光纤通信方式，而对于输电线路在线监测、电气设备状态监测，除利用光纤传递信息外，也一定程度上应用了无线传感技术。在用电信息数据采集和智能用电方面，所用到的通信技术主要涉及窄带电力线通信、宽带电力线通信、短距离无线通信、光纤复合低压电缆及无源光通信、公网通信等。

2. 网络层

网络层以电力光纤网为主，以电力线载波通信网、无线宽带网为辅，从感知层设备采集数据的转发，负责物联网与智能电网专用通信网络之间的接入，主要用来实现信息的传递、路由和控制，分为接入网和核心网，以保证物联网与电网专用通信网络的互联互通。在智能

电网应用中，考虑到对数据安全性、传输可靠性及实时性的严格要求，物联网的信息传递、汇聚与控制主要借助于电力通信网实现，在条件不具备或某些特殊条件下也可依托于公众电信网。其中，核心网主要由电力骨干光纤网组成，并辅以电力线载波通信网、数字微波网。而接入网则以电力光纤接入网、电力线载波、无线数字通信系统为主要的手段，使电力宽带通信网为物联网技术的应用提供了一个高速的双向宽带通的信网络平台。

3. 应用层

应用层主要由应用基础设施和各种应用两大部分组成。其中，应用基础设施为物联网应用提供信息处理、计算等通用基础服务设施、能力及资源调用接口，并在此为基础上实现物联网的各种应用。面向智能电网的应用涉及智能电网生产和管理中的各个环节，通过运用智能计算、模式识别等技术来实现电网相关数据信息的整合分析处理，进而实现智能化的决策、控制和服务，最终电网各应用环节的智能化水平得以提升。

11.5.3 物联网在智能电网中的应用模型

2010 年，世界博览会在上海成功举办，世博园区各场馆都应用了物联网技术，尤其是国家电网馆，在向人们展示智能电网美好蓝图的同时，通过各种仿真模拟，让人们体验到了物联网技术与智能电网完美结合后的智能与便捷。

1. 电力设备状态监测

利用物联网技术在常规机组内部安置一定数量的传感监测点，可以实时了解机组运行情况，包括它的各种技术指标与参数，从而提高常规机组状态监测水平。例如，通过在水电站坝体安装传感器网络，可以随时监测坝体变化情况，以规避水库运行可能存在的风险。同样地，物联网技术也可以对风能、太阳能等新能源发电进行在线监测、控制以及功率预测等。利用物联网技术，可以大幅提高一次设备的感知能力，使其能与二次设备很好地结合，从而实现联合处理、数据传输、综合判断等功能，极大地提高电网的技术水平和智能化程度。

此外，输电线路状态在线监测是物联网的重要应用，它也可以提高对输电线路运行状况的感知能力，包括气象条件、覆冰、导地线微风振动、导线温度与弧垂、输电线路风偏、杆塔倾斜等内容的监测。输电线路状态在线监测系统示意如图 11-5-3 所示。

根据物联网对电力设备的环境状态信息、机械状态信息、运行状态信息进行的实时监测和预警诊断，提前做好相应的故障预判、设备检修工作，从而提高了设备检修、自动诊断和安全运行水平。

2. 电力生产管理

因电力生产的管理较为复杂，管理电力现场作业难度相当大，常伴有误操作、误进入等安全隐患。通过物联网技术进行身份识别、电子工作票管理、环境信息监测、远程监控等，方便实现调度指挥中心与现场作业人员的实时互动，如图 11-5-4 所示。

在电力巡检管理上，利用射频识别(RFID)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统以及无线通信网，对设备的运行环境及其运行状态进行监控，并根据识别标签辅助设备定位，实现人员的到岗监督，从而监督工作人员参照标准化和规范化的工作流程，进行辅助状态检修和标准化作业。在塔基下、杆塔上及输电线路上安装地埋振动传感器、壁挂振动传感器、倾斜传感器、距离传感器、防拆螺栓等设备，并结合输电线路状态的在线监测系统，实现对重要杆

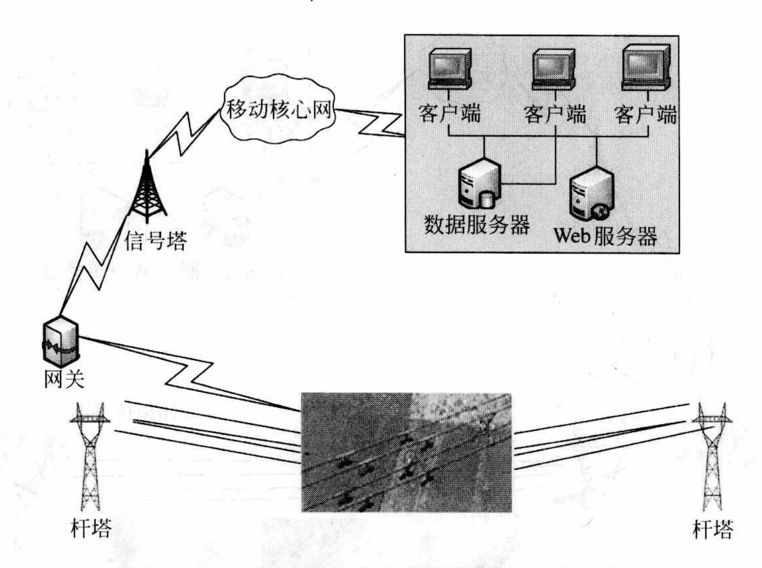


图 11-5-3 电网线路在线监测物联网结构示意图

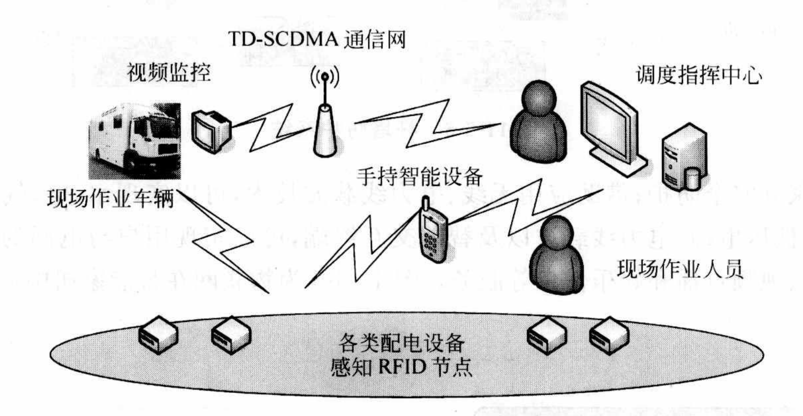


图 11-5-4 基于物联网的电力现场作业监管系统

塔较好的实时监测和防护。图 11-5-5 为杆塔防护系统示意图。

3. 电力资产全寿命周期管理

在电力设备中应用射频识别和标识编码系统，对资产进行身份管理、状态监测、全寿命周期管理，自动识别目标对象并获取数据，从而在技术上为实现电力资产全寿命周期管理、提高运转效率、提升管理水平提供了更好的支撑。

4. 智能用电

物联网技术有利于智能用电双向交互服务、用电信息采集、家居智能化、家庭能效管理、分布式电源接入以及电动汽车充放电的实现，同时也是实现用户与电网的双向互动、提高供电可靠性与用电效率以及节能减排的技术保障。在电动汽车、电池、充电设施中安装传感器和射频识别装置，实时感知电动汽车运行状态、电池使用状态、充电设施状态以及当前网内能源供给状态，实现电动汽车及充电设施的综合监测与分析，并保证电动汽车运行在稳定、经济、高效运行。

物联网技术也方便家居智能化的实现。借助于在各种家用电器中内嵌的智能采集模块和通信模块，可以实现家用电器的智能化和网络化，完成对家用电器运行状态的监测、分析以及控制；借助在家中安装门窗磁报警、红外报警、可燃气体泄漏监测、有害气体监测等传感

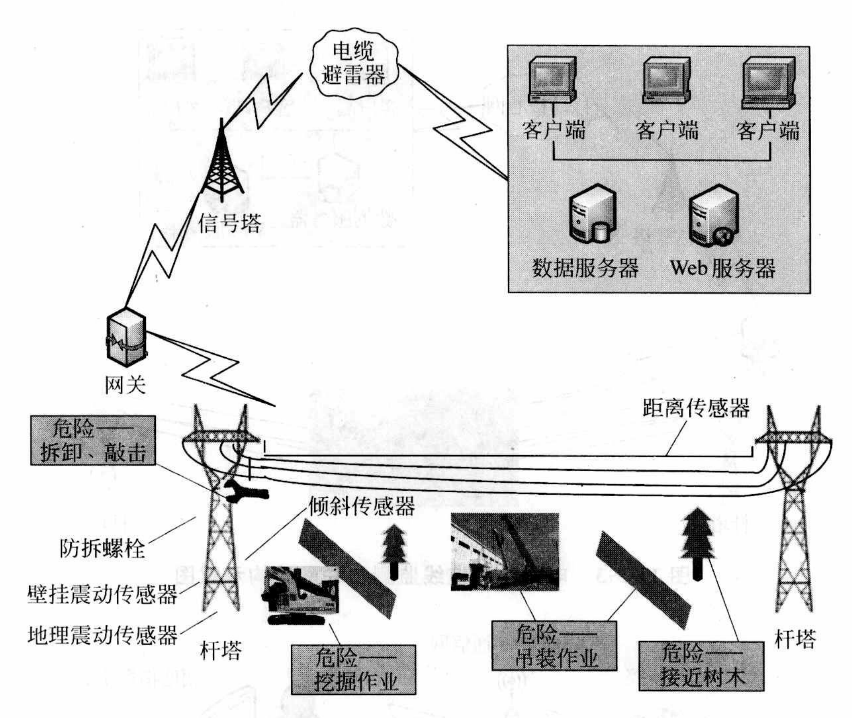


图 11-5-5　杆塔防护系统

器,可以实现家庭安全防护;借助应用无线、电力线载波技术,可以实现水、电、气表自动抄收;借助光纤复合低压电缆、电力线载波以及智能交互终端,可以实现用户与电网的交互,以及相关的通信服务、视频点播和娱乐信息等服务。图 11-5-6 为物联网在智能家居中的应用。

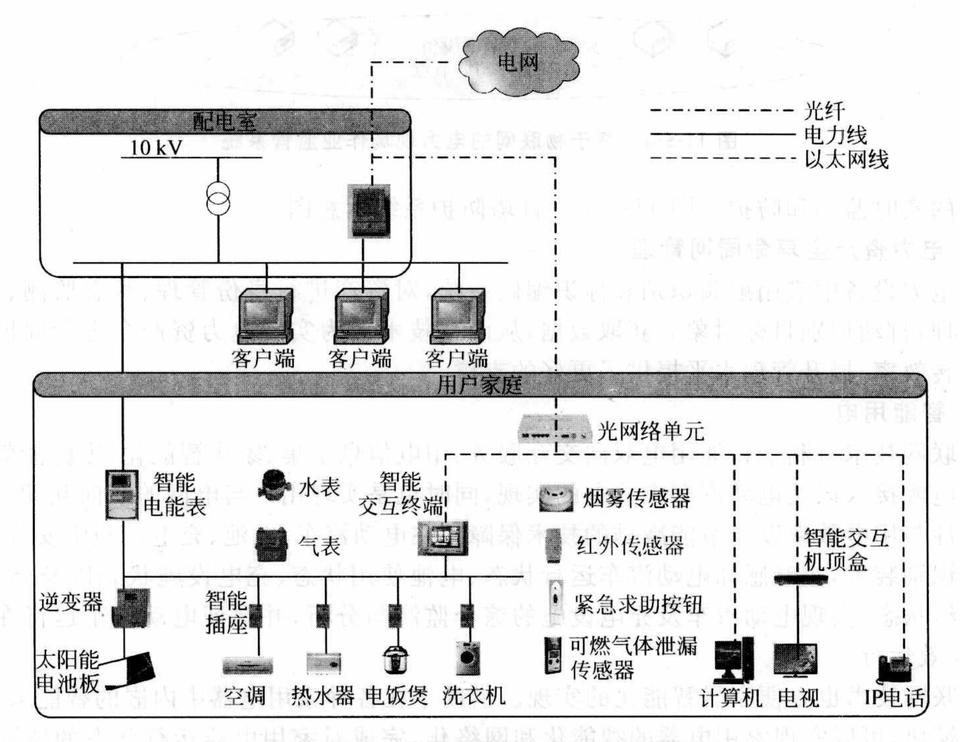


图 11-5-6　物联网在智能家居中的应用

在智能电网建设中应用物联网技术，体现了智能电网信息化、自动化、互动化的特征，是智能电网发展的必然选择。物联网技术和智能电网的相互融合以及广泛应用，能通信基础设施资源和电力系统基础设施资源进行有效整合，大幅提高电力系统信息化水平、安全运行水平、可靠供电及优质服务水平，降低线损、提高电能传输效率和使用效率。随着它的进一步发展，物联网技术必将与智能电网有着更多的渗透与融合，也必将给未来电网带来更大的经济效益和社会效益。

11.6 智能家居方面

11.6.1 智能家居行业概述

随着信息社会的发展，网络和信息家电已越来越多地出现在人们的生活中，而这一切发展的最终目标都是给人类提供舒适、便捷、高效、安全的生活环境。如何建立一个高效率、低成本的智能家居系统已成为当今世界的一个热点问题。近年来，国际上许多大公司提出了相应的解决方案，但迄今为止，这一领域的国际标准尚未成熟，各国正努力研制适合于本国国情的智能家居系统。智能家居系统的提出和实现不仅会带来普通居民用户家庭生活方式上的变革，而且将波及工业控制等许多与Internet相关的嵌入式应用领域。而以智能家居为最基本构成单元的有序化网络体系结构的诞生则会为Internet注入新的生机和活力。

智能家居概念的起源很早，但一直未有具体的建筑案例出现，直到1984年美国联合科技公司(United Technologies Building System)将建筑设备信息化、整合化概念应用于美国康涅狄格州(Connecticut)哈特佛市(Hartford)的City Place Building时，才出现了首栋的“智能型建筑”，从此也揭开了全世界争相建造智能家居的序幕。

11.6.2 智能家居的概念

智能家居是以住宅为平台，利用综合布线技术、网络通信技术、智能家居-系统设计方案安全防范技术、自动控制技术、音视频技术将家居生活有关的设施集成，构建高效的住宅设施与家庭日程事务的管理系统，提升家居安全性、便利性、舒适性、艺术性，并实现环保节能的居住环境。智能家居又称智能住宅，在国外常用smart home表示。与智能家居含义近似的有家庭自动化(home automation)、电子家庭(electronic home、E-home)、数字家园(digital family)、家庭网络(home net/networks for home)、网络家居(network home)、智能家庭/建筑(intelligent home/building)，在我国香港和台湾等地区，还有数码家庭、数码家居等称法。智能家居是以住宅为平台，安装有智能家居系统的居住环境，实施智能家居系统的过程称为智能家居集成。由于智能家居采用的技术标准与协议的不同，大多数智能家居系统都采用综合布线方式，但少数系统可能并不采用综合布线技术，如电力载波，不论哪一种情况，都一定有对应的网络通信技术来完成所需的信号传输任务，因此网络通信技术是智能家居集成中关键的技术之一。安全防范技术是智能家居系统中必不可少的技术，在小区及户内可视对讲、家庭监控、家庭防盗报警、与家庭有关的小区一卡通等领域都有广泛应用。自动控制技术是智能家居系统中必不可少的技术，广泛应用在智能家居控制中心、家居设备自动控制模块中，对于家庭能源的科学管理、家庭设备的日程管理都有十分重要的作用。音视频技术

是实现家庭环境舒适性、艺术性的重要技术，体现在音视频集中分配、背景音乐、家庭影院等方面。智能家居将让用户有更方便的手段来管理家庭设备，例如，通过家触摸屏、无线遥控器、电话、互联网或者语音识别控制家用设备，更可以执行场景操作，使多个设备形成联动；另一方面，智能家居内的各种设备相互间可以通信，不需要用户指挥也能根据不同的状态互动运行，从而给用户带来最大限度的高效、便利、舒适与安全。

11.6.3 物联网在智能家居应用中的基本架构

为了满足物联网的异构需求，物联网需要一个开放的、分层的、可扩展的网络架构。面向智能家居的物联网大致分为感知层、网络层和应用层 3 个层次，如图 11-6-1 所示。

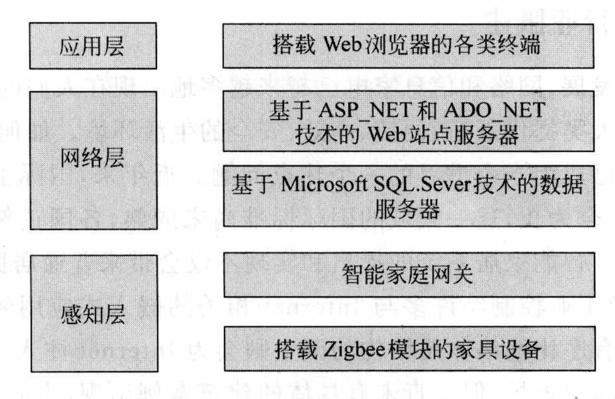


图 11-6-1 智能家居的基本构架

1. 感知层

感知层包括各类搭载了 ZigBee 无线通信模块的家用电器、照明设备和安防设备等，实现对家庭环境的全面感知，并由智能家庭网关实现感知层和网络层的数据交换.

2. 网络层

网络层包括一台数据服务器和一台 Web 站点服务器。数据库服务器同家庭数据网关进行数据交互，Web 站点服务器通过访问上述数据库服务器获取数据，将信息通过 Web 站点发布到互联网上。

3. 应用层

应用层包括各类搭载了 Web 浏览器的终端设备，用户可以通过 Web 浏览器访问上述站点实现对智能家居系统的管理和控制。

11.6.4 物联网智能家居的工作原理和功能

智能家居系统由 4 部分组成，分别是信号接收器、中央控制单元、模拟启动器和远程遥控控制器。下面分别介绍：

（1）信号接收器：由单片机控制的软件程序单元，用来接收主人发来的指令。

（2）模拟启动器：指令的执行者，通过各种智能家居远程遥控控制器的接口和相关的指令来控制各种家居的相应功能，类似于计算机的主板，通过它与各种各样的智能家居相连接。迷你启动器是执行单元，它需要按不同的家电的需求，执行相应的功能。

（3）小型远程遥控器：可嵌入手机中的信号收发芯片，通过它将主人的指令发送到信

号接收器。

(4) 中央控制器：中央控制器是由单片机和DSP芯片以及其他相关的期间组成的控制单元，它内部集成了四大系统：室内环境控制系统、安详生活系统、梦幻灯光系统和安全家居系统。所有对智能家居的操作指令都是由中央控制器发出的。

具体工作原理如图11-6-2所示。

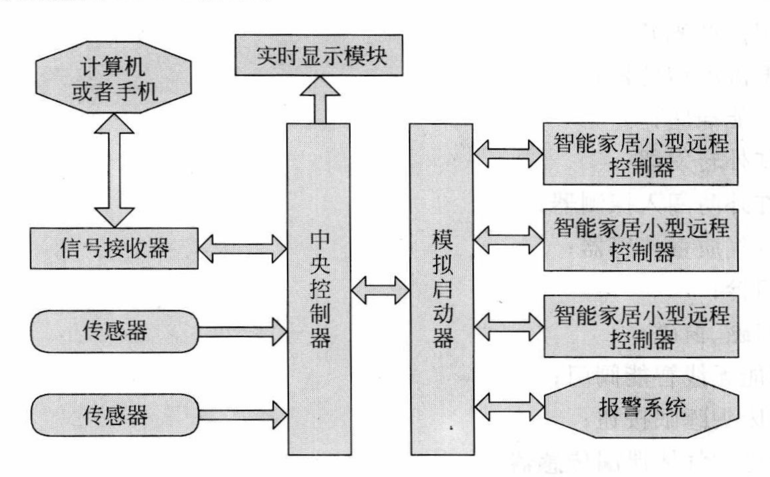


图 11-6-2 智能家居的工作原理

具体的工作原理为：用户将所要达到的效果以文字的形式发送出去，信号接收器接收到信息后，转化为可识别的代码传送到中央控制器，中央控制器进行必要的处理和分析后，一面将指令传送到模拟启动器，一面将指令传递到实时显示模块进行显示，模拟启动器根据指令，分别启动相关的远程控制器，从而达到对相应的智能家居的控制和操作。完成相应的操作之后，远程控制端口会返回一天完成的指令，再由中央控制器通过信号接收器反馈给使用者，用户可以根据反馈信息决定下一步的操作。

用户不操作的情况下，中央控制器会自动接收，监控各类传感器，根据不同的设置要求，实时监控各类环境数据。一旦变化超出设定的范围，中央控制器就会自动地产生指令，模拟启动器就会控制相应的智能设备进行调节，从而营造一个安全舒适的家居条件。

11.6.5 物联网相关技术在智能家居中的应用

基于物联网的智能家居从体系架构上来看，由感知、传输和信息应用3部分组成。感知是指末端的感知、信息采集以及受控等设备，传输包括家庭内部的网络和外部网络数据的汇集和传输，信息应用主要是指智能家居应用服务运营商提供的各种服务。

1. 智能抄表

用户数据处理部分的主要功能是自动计量、收费和管理水、电、气等资源，该部分采用非接触式智能表。

用户数据采集主要是将水表、电表、气表等装置的计量结果用脉冲或者是点信号输出，通常可以采用霍尔元件型传感器或者是弹簧管型传感器。以弹簧管传感器为例，在普通的转盘式技术表中加入弹簧管和磁铁，当转盘每转一圈在信号端就产生一个计量脉冲，把用户的水、点、气等流量变为电信号输出。

2. 智能生活控制

作为标准的智能家居,需要覆盖多方面的应用,但前提条件一定是任何一个普通消费者都能够非常简单快捷地自行安装部署甚至扩展应用,而不需要专业的安装人员上门安装。一个典型的智能家居系统通常需要下列设备:

(1) 无线网关;

(2) 无线智能调光开关;

(3) 无线温湿度传感器;

(4) 无线智能插座;

(5) 无线红外转发器;

(6) 无线红外防闯入探测器;

(7) 无线空气质量传感器;

(8) 无线门铃;

(9) 无线门磁、窗磁;

(10) 太阳能无线智能阀门;

(11) 无线床头睡眠按钮;

(12) 无线可燃气体泄漏传感器。

其简单的示意图如图 11-6-3 所示。

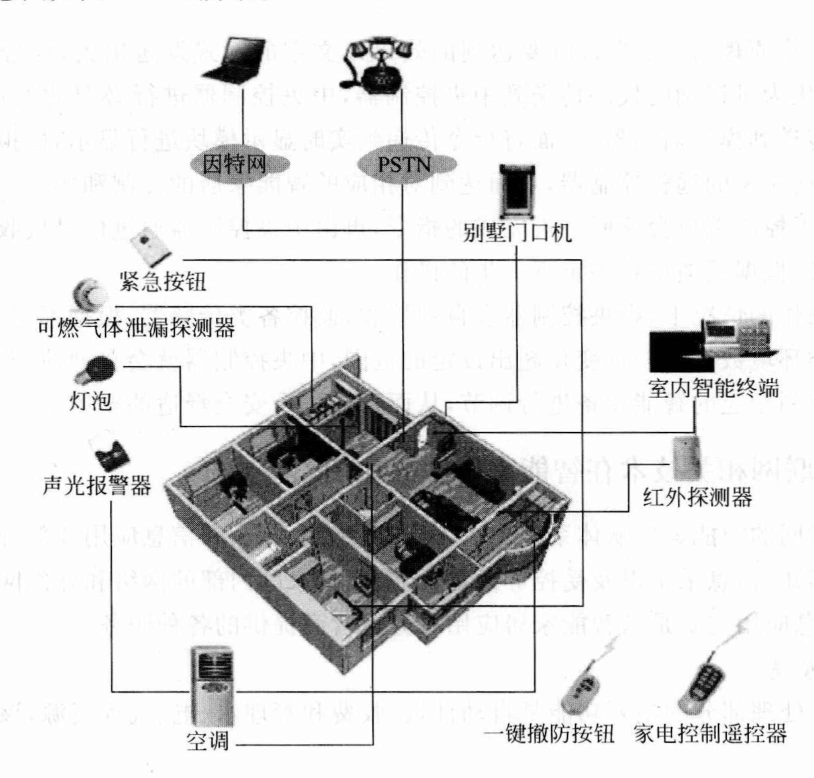


图 11-6-3 智能家居示意图

如图 11-6-4 所示,为智能家居系统具体的安装连接图。

例如家中无人时门被打开,门磁侦测到有人闯入,则将闯入报警通过无线网关发送给主

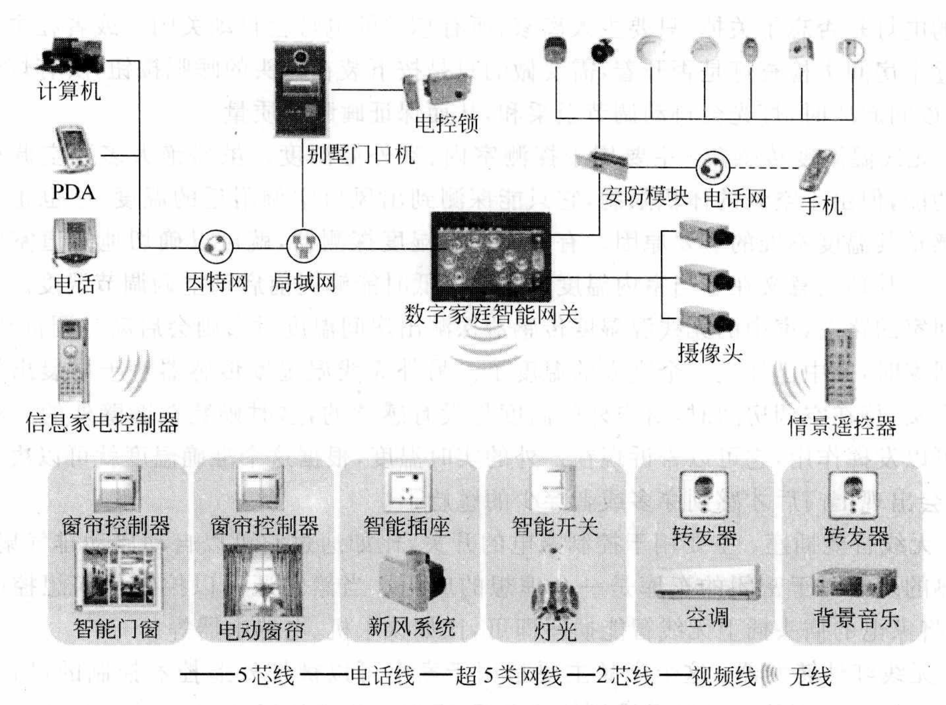


图 11-6-4 智能家居系统连接图

人手机，手机收到信息发出震动铃声提示，主人确认后发出控制指令，电磁门锁自动落锁并触发无线声光报警器发出报警，如图 11-6-5 所示。

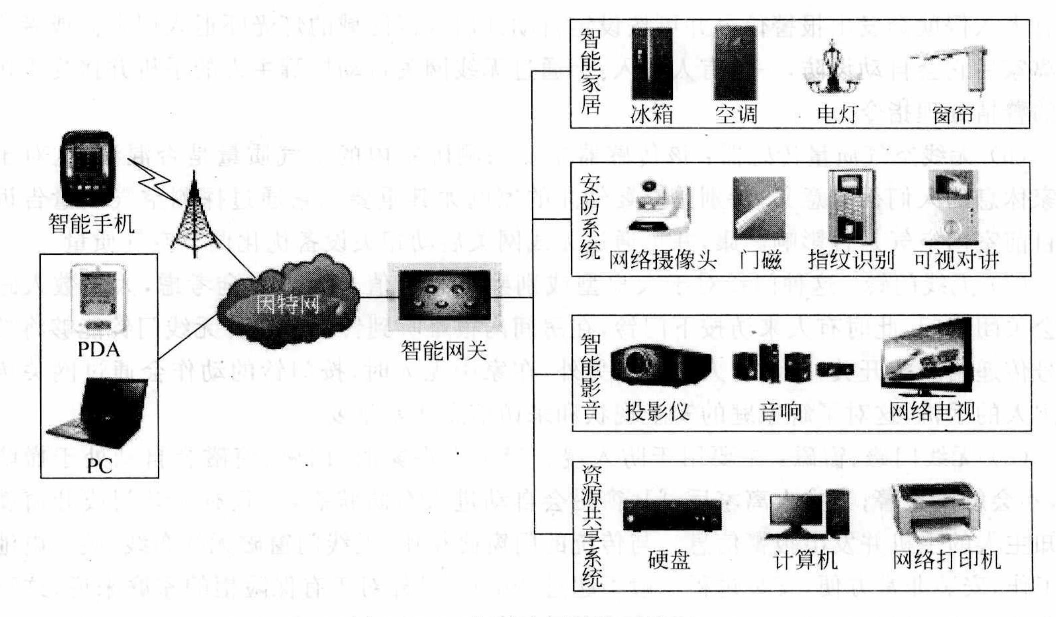


图 11-6-5 智能家居防盗系统图

(1) 无线智能调光开关：该开关可直接取代家中的墙壁开关面板，通过它不仅可以像正常开关一样使用，更重要的是它已经和家中的所有物联网设备自动组成一个无线传感控制网络，可以通过无线网关向其发出开关、调光等指令。其意义在于主人离家后无需担心家

中所有的电灯是否忘了关掉，只要主人离家，所有忘关的电灯会自动关闭。或者在主人睡觉时无需逐个房间去检查灯是否开着，需要做的只是按下装在床头的睡眠按钮，所有灯光会自动关闭；夜间起床时，灯光会自动调节至柔和，从而保证睡眠的质量。

(2) 无线温湿度传感器：主要用于探测室内、室外温湿度。虽然绝大多数空调都有温度探测功能，但由于空调的体积限制，它只能探测到出风口空调附近的温度，这也正是很多消费者感觉其温度不准的重要原因。有了无线温湿度探测器，就可以确切地知道室内准确的温湿度。其现实意义在于当室内温度过高或过低时能够提前启动空调调节温度。比如当主人在回家的路上，家中的无线温湿度传感器探测出房间温度过高则会启动空调自动降温，等主人回家时，家中已经是一个宜人的温度了。另外无线温湿度传感器对于早晨出门也有着特别意义，待在空调房间时，对户外的温度是没有感觉的，这时候装在墙壁外的温湿度传感器就可以发挥作用，它可以告诉现在户外的实时温度，根据这个准确温度就可以决定穿着了，而不会出现出门后才感到穿多或者穿少的尴尬了。

(3) 无线智能插座：主要用于控制家电的开关，比如通过它可以自动启动排气扇排气，这在炎热的夏天对于密闭的车库是一个理想的应用。当然它还可以控制任何想控制的家电，只要将家电的插头插上无线智能插座即可，比如饮水机、电热水器等。

(4) 无线红外转发器：这个产品主要是用于家中可以被红外遥控器控制的设备，比如空调、电动窗帘、电视等。通过无线红外转发器，可以远程无线遥控空调，也可以不用起床就关闭窗帘等。这是个很有意义的产品，它可以将传统的家电立即转换成智能家电。

(5) 无线红外防闯入探测器：这个产品主要用于防止非法入侵，比如当按下床头的无线睡眠按钮后，关闭的不仅是灯光，同时也会启动无线红外防闯入探测器自动设防，此时一旦有人入侵就会发出报警信号并可按设定自动开启入侵区域的灯光吓退入侵者。或者当主人离家后它会自动设防，一旦有人闯入，会通过无线网关自动提醒主人的手机并接受手机发出的警情处理指令。

(6) 无线空气质量传感器：该传感器主要探测卧室内的空气质量是否混浊，这对于要回家休息的人们很有意义，特别是有婴幼儿的家庭尤其重要。它通过探测空气质量告诉主人目前室内空气是否影响健康，并可通过无线网关启动相关设备优化调节空气质量。

(7) 无线门铃：这种门铃对于大户型或别墅很有价值。出于安全考虑，大多数人睡觉时会关闭房门，此时有人来访按下门铃，在房间内很难听到铃声。这种无线门铃能够将按铃信号传递给床头开关，提示有人造访。另外，在家中无人时，按门铃的动作会通过网关传递给主人的手机，这对了解家庭的安全现状和来访信息非常重要。

(8) 无线门磁、窗磁：主要用于防入侵。当主人在家时，门磁、窗磁会自动处于撤防状态，不会触发报警；当主人离家后，门、窗磁会自动进入布防状态，一旦有人开门或开窗就会通知主人的手机并发出报警信息。与传统的门窗磁相比，无线门窗磁无须布线，装上电池即可工作，安装非常方便，安装过程一般不超过 2min。另外对于有保险柜的家庭来说，这种传感器还能够侦测并记录下保险柜每次被打开或者关闭的时间并及时通知授权手机。

(9) 太阳能无线智能阀门：这是通过太阳能供电的无线浇灌系统。一般工作流程是土壤湿度传感器将土壤含水情况发送给无线网关，一旦土壤缺水，无线网关就会发出控制指令给无线智能阀门通知供水，同时将供水时间和供水量传递给网关，并通过网关保存在手机或其他设备上。

(10) 无线床头睡眠按钮：这是个可以固定或粘贴在床头木板上的电池供电装置，它的作用主要是帮助在睡觉时关闭所有该关闭的电器，同时启动安全系统进入布防状态。比如启动无线红外防闯入探测器、窗磁、门磁等进入预警布防状态。另外，它也能帮助启动夜间的照明模式，夜间起床时，打开的灯光就会很柔和，而不会像进餐时那么明亮，即使这是同一盏灯。

(11) 无线可燃气体泄漏传感器：该传感器主要是探测家中的可燃气体泄漏情况，它无须布线，一旦有可燃气体泄漏会通过网关发出报警并通知授权手机。

(12) 无线辐射传感器、无线空气污染传感器：对于一些对太阳辐射敏感的人来说，这种传感器具有特别的意义，通过它可以准确知道出门前是否需要采取防太阳辐射或者防污染防尘措施，唯一要做的就是看一下手机屏幕，因为户外的辐射、污染等情况已经通过无线网关传到手机上了。

11.6.6 小结

物联网智能家居给我们编制了一张如此美丽的蓝图，但是现实的发展却是没有想象中的那么美好，还有很多现实的深层次的问题值得探讨和深究。

传感中断设备技术需要突破，传统的接入技术，如RFID、二维码、传感器技术等需要进一步成熟。从技术稳定性、价格性价比、产品实用性等多方面考虑。此外传感网络与宽带、CDMA等移动网络的融合，也需要进一步的技术研发。

物联网智能家居体系结构需要建立一个行业想走上良性发展的轨道，必须要建立统一的体系结构标准，这样才能实现各个生产厂家的产品相互兼容，也才能健康持续地发展。但是现阶段、短时间内还无法制定统一的标准。

物联网智能家居现在还处于起步阶段，产品大规模批量化生产还需要时间，随之而来的就是产品成本相对较高。在中国只有少部分用于试点研究安装，真正用于生活的还并不多见，所以在这个时候更加需要成熟的商业链推动其发展，使其能够在市场中找到相应的位置，同时政府也应该出台相应的扶持政策，催化物联网智能家居的可持续发展。

11.7 其他方面

物联网的出现，把人们的生活拟人化了，万物成了人的同类。在这个物与物相联的世界中，各种事物能够彼此进行“交流”，而无需人的干预。物联网利用射频自动识别技术，通过计算机互联网实现万物的自动识别和信息的互联与共享。因此，物联网描绘的是一个智能化的世界，在这个世界里，物物相联、息息相关。

物联网的发展，也是以移动技术为代表的普适计算和泛在网发展的结果，这种发展带动的不仅是技术进步，而且是通过应用创新进一步带动经济社会形态、创新形态的变革，塑造知识社会的流体特性，推动面向知识社会的下一代创新形态的形成。移动及无线技术、物联网的发展，使得创新更加关注用户体验，用户体验成为下一代创新的核心。开放创新、共同创新、大众创新、用户创新成为知识社会环境下的创新特征，技术更加展现其以人为本的一面，以人为本的创新随着物联网技术的发展成为现实。

11.7.1 医疗业

1. 概述

医疗物联网管理系统是利用RFID、传感器、二维码等随时随地获取药品或药械信息，通过有线或无线网络与互联网融合，将产品信息适时准确传递，再利用云计算系统对海量信息进行分析和处理，实现产品智能化的控制管理。

国家食品药品监督管理局分别在2008年发布《关于实施药品电子监管工作有关问题的通知》(国食药监办[2008]65号)和2009年发布《关于实施国家药品编码管理的通知》，明确了药品药械的统一编码管理，以及物联网在电子政务、电子商务的信息化建设、信息交换和信息处理中的重要作用。

物联网在医疗卫生领域的条码化病人身份管理、移动医嘱，诊疗体征录入、移动药物管理、移动检验标本管理、移动病案管理数据保存及调用、婴儿防盗、护理流程、临床路径等管理中，均能发挥重要作用。

通过物联网技术，用药单位可与制药企业直接沟通，省去了医药代理商、医药代表等若干中间环节，也省去了药品中转仓库，药品的流通成本可以降低50%以上；也可以通过物联网技术，在条码化病人身份管理、护理流程、临床路径等管理中，发挥重要作用，推动整个医疗行业的整体发展。药物流通的龙头公司将明显受益。未来智能医疗可实现监护工作无线化，并大幅度体现医疗资源高度共享，降低公众医疗成本。

从应用规划来说，主要是要通过物联网的应用形成中国的电子医疗体系，为医疗领域的服务带来四大便利。

第一，通过电子医疗和RFID物联网技术能够使大量的医疗监护的工作实施无线化的应用，可以大幅度地体现高度的共享和降低公众的医疗成本。通过物联网技术可以给百姓提供远程医疗和自助医疗，目前，我们的医疗服务确实是资源短缺，又存在着应用的不合理和浪费的现象，于是利用过物联网，使得医疗模式有一个根本性的改变。一些不一定非得去医院占用物理资源的病和它的信息可以提前通过物联网进行采集，病人可以进行自我医疗服务，通过远程医疗可以使大的疑难病症通过远程医疗技术得到好的治疗。在卫生领域通过物联网的应用，还是要强调实现信息的及时采集和高度共享，从而提高医疗卫生现代服务的水平。

物联网怎么能够为医疗带来新的服务和便利呢？我们提到了通过物联网进行远程可持续的慢病监测，一些常规的老年病、像"三高"等，可以通过感知技术把信息及时采集，有效地监控慢性病。通过急性传染病实时的监测可以控制病情的扩散。

通过健康监测，包括心电、超声等直接的接口也可以动态实时掌控病人的信息。也可以考虑在患者的管理方面进行尝试。例如患者的就诊管理，包括双向的跟踪，从家到医院，从医院到家，这里面包括从高端医院到社区医院的跟踪；对于母婴识别的管理，不仅是对母婴的安全，也对母婴的医疗质量和保健来进行监测；对失智的患者和老人也要做RFID技术和物联网技术进行全面的照护和管理。

第二，现在还使用物联网的技术作用于医疗管理领域，其中包括对医院资产的管理，也包括血液管理、医疗废弃物的管理以及医院消毒物品的管理，这些都是通过技术和应用的结合来提出卫生领域物联网发展的应用方向和规划。

药品生产和食品生产方面，食品安全和药品安全关系到社会的稳定和百姓的安全。要通过物联网技术来实施对生产流程、市场的流动以及病人用药的全方位的检测。通过物联网技术要形成全程的对生产、流通、使用的监控，并且把物联网的监控和病人的电子病例结合在一起，形成全方位安全化的用药和治疗的管理。

医院实验室方面，采用物联网技术实现智慧型的手术室、楼宇自动化和楼宇的监控，以实现来保证医院的环境安全；另外，无线移动技术也是物联网应用的重点的领域，移动护理、移动查房，包括移动心电采集等。

第三，物联网和医院信息化建设，任何的新技术都要和以前的应用要有机地结合，要可持续地发展，也要把物联网技术和过去传统的医院信息化建设有机地结合起来，这里面包括远程医疗和依赖网络的建设，通过物联网技术来帮助边远地区的患者解决看病难的问题，提供通信和应用平台，包括方便的实时付费以及网上诊断，网上的病理切片分析和设备的互通等。

通过物联网实行家庭的安全监护，可以实时地得到病人的各种各样的信息，比如对病人的体温进行实时的采集等。在医院的患者治疗方面，尽量地通过物联网技术实现更人性化的医疗。新加坡已经提倡对病人进行无干扰的治疗，例如针对病人在住院的时候，一天查几次体温，经常要把受病痛折磨的病人叫醒来试表的问题，他们已经采用标签技术进行无干扰的测体温。

第四，通过物联网对空气质量进行监测，例如地震时，可通过物联网技术实时检测环境的情况，也通过物联网技术监测体温的情况，以及传染病重要的指标来进行监控。其中也包括对于有关牲畜造成的传染病的监控，防止逃脱，建立“防逃脱系统”。

对应急指挥和灾难应急的医疗方案，通过物联网可以提供完善的应灾系统，通过物联网技术来实行灾难现场医疗数据的采集，包括互联互通的各种医疗设备，特别是由于次生灾害造成的灾害，通过物联网实现现场的统一资源的调度，实现全方位的指挥调度和医疗设备的监控，形成物联网化的应急联动系统。

物联网在病人的安全方面不仅仅是规划，也在开展试点，这几年在国家金卡工程信息办统一的协调下已经提出了规划，从 2012 年开始重点是要抓一些示范应用，包括医院的应用和公共卫生的监测应用，包括物联网和电子标签的耗材的监控、手术的监控、实验室化验室的监控，以及对社区的群众的管理、药品的追溯和智能化手术室的物联网化的管理和监控。

通过物联网的应用促进医疗护理质量的提升，促进医疗资源的高度共享，完善城乡社会医疗保障体系，为医疗改革提供新型的网络化的支撑平台。

身为全球最大的物联网器件生产商负责人之一，村田制作所（中国）执行副总裁孙崑泉认为，传感器是物联网产业链的核心器件。在“感知—传输—处理—应用”这条物联网产业链上，利润分布最终将呈现出“两头高、中间低”的格局，尽管目前传感器的生产成本因为量产难以实现并且成本较高，但他判断，传感器和终端应用两大领域将是未来商家的主要盈利来源。在感知领域，传感器芯片 90％要依靠进口，但是根据相关部门的预测，随着国内主流创新型厂商研究力量的投入，3 年后传感器芯片的国产化率有望达到 30％。

2. 医疗物联网络平台组成

如图 11-7-1 所示，为医疗物联网络平台组成。其中包括：

(1) 无线传感器/电子标签：无线传感器主要包括 4 个模块，无线通信模块、微处理模

块、传感模块和电源模块。各类无线传感器能够检测客观世界的各类属性。电子标签的核心技术是RFID射频识别技术,是一种非接触式的自动识别技术,它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据。

(2) 无线网关/读写器:无线网关/读写器能够接收无线传感器发出的无线信号,对信号进行数据分析和简单处理,然后通过某种方式把数据发送给控制中心进行数据深入的存储、分析和处理。

(3) 控制中心:控制中心通过传统网络与所有的无线网关连接,具有海量数据存储和海量数据通信功能,汇集所有网络内的无线传感器/电子标签数据,并进行实时显示和动态分析。

(4) 用户工作站:用户工作站可以允许被授权用户远程访问控制中心,对网络内的各种设备进行远程管理,查询各个传感器/电子标签的实时状态和历史记录。

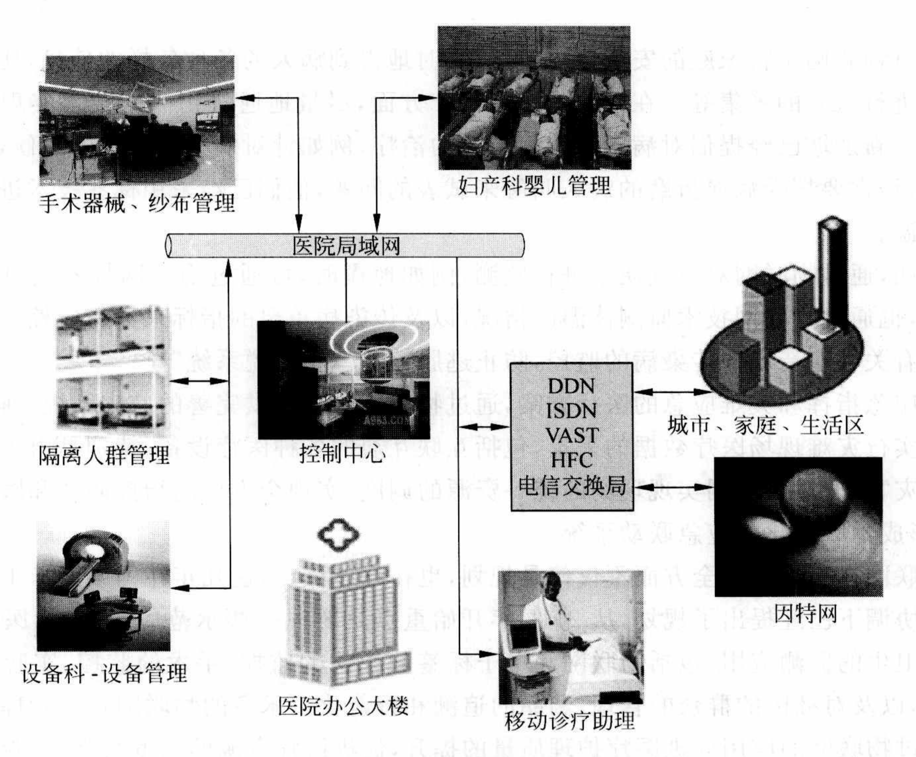


图 11-7-1　医疗物联网络平台组成

3. 医疗物联网功能介绍

医疗物联网主要有以下几个功能:

(1) 目标准确识别:电子标签具有唯一的电子编码,附着在物体上标识目标对象。与传统形式的标签相比,容量更大,数据可随时更新、读写;可识别高速运动物体并可同时识别多个标签。

(2) 客观感知世界:医疗物联网平台下的各类无线传感器能够客观地感知世界的各种属性,并把感知到的数据通过无线信号进行传输。

(3) 实时监测与动态分析:根据对象属性的实时性,平台将会把相关数据及时传递给用户,并根据用户需求对数据进行动态分析,方便用户更快速更准确地掌握客观世界。

(4) 对象管理信息系统：功能齐全的信息系统能够对各类对象和业务进行管理，例如监测信息管理、环境信息管理、网络状态管理、业务流程管理、标签数量管理等。

(5) 数据海量存储：系统的海量存储容量能够保证所有信息的永久保存，任何时间都可以找到以往任何一个时刻的数据信息，保证监测对象的数据完整性。

(6) 历史记录分析统计：用户可以查询所有历史记录信息并按照一定的公式进行统计分析，方便用户更加理性地了解统计结果，帮助用户更真实地了解世界。

11.7.2 物联网在环境保护领域中的应用

1. 数字环保的基本概念

20世纪以来，人类创造了前所未有的财富，加速了社会经济的发展，同时也带来了人口剧增、资源消耗过度、环境污染、生态恶化等问题，这些问题已经严重影响着人类的生存和发展。环境保护问题越来越受到各国政府的高度重视。数字环保的概念也就是在这样一个大的背景下产生的。

数字环保是数字地球在环境信息化与环境管理决策中的具体应用。数字环保利用计算机技术、互联网技术、3S技术、虚拟现实技术、数据仓库与数据挖掘技术、智能技术、环境可视化技术。根据环境保护的要求，对环境保护业务实现规范和整合，对环境数据进行深入的分析和挖掘，从而最大限度地提高环境保护信息化水平、监督执法水平、工作协调水平。

数字环保是以环境保护为核心，有基础应用、延伸应用、高级应用与战略应用等多个层面的环境保护管理平台集成的系统。数字环保包括环境测控跟踪系统、环境预测预报系统、污染源显示系统、污染源异动跟踪报警系统、环境状态速查系统、环保增值业务系统、排污收费系统、环境GIS系统、污染事故预警系统、环保业务工作流管理系统、环保动态仿真系统、环保决策支持系统等。

2. 无线传感网络在环境保护中的应用

目前，传统环境监测接入方式是利用局域网、电话线、短波无线信道。网络有线方式由于布线困难、费用高，因此应用范围有限。传统的短波无线方式可以克服布线困难的缺点，但是大范围测量部署成本高，能耗较大，每隔较短时间便需要更换电池，在危险区域和大面积监测区域应用时极为不便。

无线传感器网络的覆盖面积大、布设方便、自组织、多种传感器灵活使用等优点，显示出无线传感器网络在环境保护领域应用的广阔前景。无线传感网络在应用于环境参数监测的同时，也开始在其他环保领域应用，如研究环境对植物生长的影响、研究环境变化对农作物的影响、跟踪候鸟和昆虫的迁徙等。

(1) 水环境监测

水污染使水环境质量恶化，饮用水源的质量普遍下降，威胁人们的身体健康。目前，各类工业与大型企业密集在城市，排入城区河段的污染数量极大，造成流经城市的河流污染；陆地水体中，湖泊交换能力弱，污染物长期停留，易使水质恶化并引起富营养化；地下水遭受工业废水和城市污水污染日益严重，而且一旦污染，不易恢复；同时农田排水和地表径流造成的水污染也比较普遍。针对这种情况，我国也在不断加强水环境保护的监测、治理工作。应用无线传感网络，通过地表水质的自动监测，可以实现水质的实时连续监测和远程控制，以及掌握主要流域重点断面水体的水质状况。预警预报重大或流域性水质污染事故，解决

跨行政区域的水污染事故纠纷,监督总量控制制度落实情况。目前,无线传感网络在我国太湖环境监测系统中已有初步的应用。2009 年 11 月中旬,无锡国家传感信息中心和中国科学院电子研究所达成合作协议,共建"太湖流域水环境监测"传感网信息技术应用示范工程。在太湖环境监控系统中,传感器和浮标将布放在环太湖地区,建立定时、在线、自动、快速的水环境无线传感网络,形成水质量监测与蓝藻暴发预警、入湖河道水质监测,以及污染源监测的传感网络系统。通过安装在环太湖地区的这些监控传感器,可将太湖的水文、水质等环境状态提供给环保部门,实时监控太湖流域水质等情况,并通过互联网将监测点的数据送至相关管理部门。

(2) 大气环境监测

大气环境污染衍生出温室效应、酸雨和臭氧层破坏。这种由环境污染衍生的环境效应具有滞后性,往往在污染发生的当时不易被觉察或预料到,然而一旦发生就表示环境污染已经发展到相当严重的地步。

无线传感网络可以广泛用于大气环境监测。可以在所需监测大气环境质量的区域布设大量环境监测传感器网络,构成大气环境无线监测系统。通过微型传感器可以连续、自动采集大气的温度、气压、总可吸入颗粒物、CO_2、SO_2 或其他需要监测气体含量等参数。

(3) 环境对植物生长的影响的研究

在研究环境对植物生长的影响时,人们自然地想到大鸭岛海燕生态环境监测的例子。GDI(Great Duck Island)是位于缅因州 Mount Desert 以北 15km 的一个动植物保护区。加州大学伯克利分校的研究人员希望能够在 GDI 监测海燕的生存环境,研究海鸟活动与海岛微环境。传统的方法是在海岛上用电缆将多处安置的监测设备连接起来,研究人员定期到海岛去收集数据。这种方法不但开销大,而且会严重影响海岛的生态环境。由于环境恶劣,海燕又十分机警,研究人员无法采用通常的方法进行跟踪观察。为了解决这个问题,研究人员决定采用无线传感网络技术,构成低成本、易部署、无人值守、连续监测的 GDI 系统。

根据环境监测的需要,GDI 系统具有以下功能:

感知、采样与存储数据:为了尽可能地减少对海燕生态环境以及海燕的影响,研究人员在动物繁殖期之前或者动物不敏感的时期在岛上设置无线传感器节点。无线传感器节点具有监测光照、温度、湿度、气压等环境参数,并且能够实时传送到控制中心计算机中存储,以供研究人员使用。

数据的访问与控制:对监控区域节点的数据访问可以有两种基本方式,现场与远程。在节点安置时要对节点软件进行初始化,需要在现场对系统进行调试。研究人员可以使用 PDA 直接查询下一个节点,检查传感器工作状态,设置运行参数。在系统运行过程中,研究人员可以通过互联网,远程访问节点,读取监测的数据。

系统能量控制:根据海燕的活动周期,GDI 系统需要连续工作 7 个月。在此期间,GDI 系统节点处于独立工作状态,每一个节点都得靠自身的电池供电,因此系统必须具备能量控制功能,保证每一次操作的低能耗,以延长系统的生存时间。

11.7.3 物联网在防灾救灾领域中的应用

1. 数字减灾的概念

党中央、国务院高度重视防灾救灾工作,相继出台了《国际自然灾害救助应急预案》、《国

家综合减灾“十一五”计划》。2008 年 6 月，胡锦涛主席在中国科学院第十四次院士大会于中国工程院第九次院士大会上强调：“必须把自然灾害预报、防灾救灾工作作为关系经济和社会发展全局的一项重大工作进一步抓紧抓好；要加强自然灾害监测与预警能力建设，构建自然灾害立体监测体系。”2009 年 3 月，温家宝总理在第十一届全国人大第二次会议上所作的政府工作报告中指出：“加强防灾救灾基础研究和能力建设”。

数字减灾是以数字地球为主要技术支撑，利用计算机技术、互联网技术、智能技术、虚拟现实技术、可视化技术为工具，研究物理模型、数学仿真和实地监测方法，模拟灾害发生、传播的全过程，为研究灾害形成及防御措施，同时为防灾减灾的决策提供科学依据。

2. 我国数字减灾的工作基础

2007 年 8 月 14 日国务院办公厅正式颁布了《国家综合减灾“十一五”规划》。规划中在关于减灾科学支撑方面明确提出：依托环境与灾害监测预报小卫星星座“2＋1”阶段卫星与地面应用系统，紧密结合国家高分辨率对地观测系统等工程计划，开展后续卫星需求论证工作；积极促进稳定高效的国家灾害监测能力的形成，充分利用已有的各类军、民用遥感卫星数据，综合利用国内外航空航天遥感资源，优势互补，通过国家、区域、省级应用网络体系，实现具备灾害监测预警、动态评估、决策支持和产品服务等能力的灾害遥感业务运行系统，实现“天-空-地”一体化的空间技术减灾服务能力；同时，继续推动导航定位卫星在减灾领域的应用，逐步建立航天航空遥感、卫星通信、卫星导航和地面应用与网络系统构成的国家减灾体系。

当前，从国际到地方都十分重视数字减灾工作，防灾救灾与应急处置能力得到明显的提供，并在“5.12 汶川大地震”、“4.14 玉树大地震”中得到了很好的检验。为了全面加强综合减灾能力，我国自行研制了“环境与灾害监测预报小卫星星座系统”；为了充分发挥灾害监测预报小卫星星座系统的作用，在国家减灾委与民政部牵头和组织下，开展了灾害监测预报小卫星星座系统应用系统的研究工作；研究构建小核心、大覆盖的“无人飞机应急监测与快速响应支持系统”；组建“国家灾害应急通信保障平台”。

在防灾救灾基础研究方面，我国科学家开展了中国陆地构造环境监测网络的建设工作。陆态网络的建设旨在为地球科学的研究与应用提供从几千米到百万米，从地表到高空的地球动态演化信息，推动各种尺度地球物理现象的认识及其机理的研究，探索我国陆地构造环境变化规律，及其对资源、环境、自然灾害的影响，推动自然灾害预测水平的提高。同时，我国科学家正在开展数字灾害模型、灾害风险、灾情与恢复重建评估的研究，以及减灾的标准与政策法规的研究工作。

3. 无线传感网络在防灾救灾与应急处置中的应用

我国是滑坡与泥石流多发国家。边坡的稳态决定人类生存条件与环境，边坡的变形与失稳是对人类的直接性灾害，自然因素如地震、降雨洪水，人为因素如土地开发、森林滥伐都是造成边坡变形、失稳的直接因素，边坡由于受到这两个主要因素的影响，越来越频繁发生崩滑、泥石流等灾害事件。国内外科学家都在致力于无线传感网络在滑坡与泥石流监测与应急处置中的应用。

山体滑坡无线监控系统主要由无线传感器监测网络和远程监控中心两部分组成。图 11-7-2 为山体滑坡无线监控系统结构图，图 11-7-3 为远程监控中心框图。

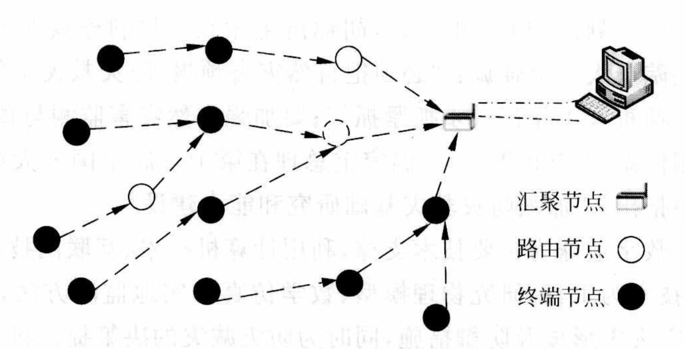


图 11-7-2　山体滑坡无线监测系统结构图

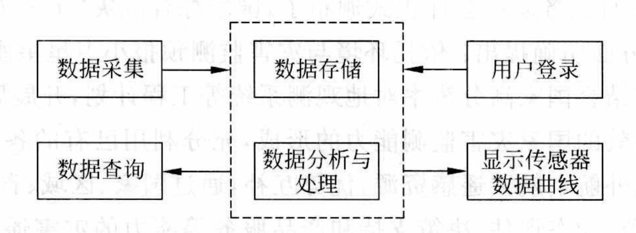


图 11-7-3　远程监控中心框图

山体滑坡无线传感器监测网络由 3 种节点构成：汇聚节点(Sink 节点)、路由节点以及终端节点。其中，Sink 节点负责网络的构建、管理、维护以及数据的远程传输；路由节点负责路由的实现、维护以及数据的转发；终端节点主要实现传感器信息的采集及发送。为了提高网络的健壮性与可靠性，终端节点同时也具有路由节点的功能，从而提高了整个网络的路由冗余，增强了网络路由的可靠性及健壮性。为了采集监测区域的实时有效信息，在监测区域安放大量的传感器节点采集山体环境信息，其中，山体的运动是滑坡发生最直接的标志，因此，在被监测区域放置大量的加速度传感器节点，实时采集山体的加速度值；由于温湿度是影响山体滑坡的重要因素，因此，安放温湿度传感器节点实时采集监测区域的温湿度值。传感器节点采集山体滑坡监测区域的信息，以改进的最小跳数路由协议实现数据的多跳传输并汇聚到 Sink 节点，通过 Sink 节点的 GPRS 模块，实现监测数据的远程传输，远程监控中心对接收到的信息进行分析、处理、存储，图形化显示与报警，从而实现对山体滑坡的监测预警。

如果在重点监控的区域，如山体、公路的边坡安放一定数量的无线传感器节点，这些节点按照自组织方式形成无线传感器网络，那么这些节点的传感器就可以定时或到测量值超过预定值范围时，立即将山体、边坡的数据由汇聚节点汇总，然后通过卫星通信信道发送到控制中心。控制中心可以随时掌握山体与边坡的状态信息，当出现滑坡与泥石流危险时，系统会发出报警，工作人员立即启动应急预案进行处理。

我国正处在基础设施建设的高峰期，各类大型工程的安全施工及监控是建设设计单位长期关注的问题。采用无线传感网络，选择适当的传感器，例如压力传感器、加速传感器、超声传感器、湿度传感器等，可以有效地构建一个三维立体的防护监测网络。该系统可以用于监测桥梁、高架桥、高速公路等道路环境。例如对许多老旧的桥梁，桥墩长期受到水流的冲刷，可以在桥墩底部放置传感器用以感测桥墩结构；也可以放置在桥梁两侧或底部，搜索桥

梁的温度、湿度、震动幅度、桥墩被腐蚀程度等，以减少断桥所造成生命财产的损失。

2003年，哈工大欧进萍院士的课题组开发了一种用于海洋平台和其他土木工程结构健康监测的无线传感器网络。利用多种智能传感器，如光纤光栅传感器、压电薄膜传感器、形状记忆合金传感器、疲劳寿命丝传感器、加速度传感器等进行建筑结构的监测。课题组应用无线传感器网络，针对超高层建筑的动态测试开发了一种新型系统，并应用到深圳地王大厦的环境噪声和加速度响应测试。地王大厦高81层，桅杆顶高384m。在现场测试中，将无线传感器沿大厦竖向布置在结构的外表面，系统成功测试了环境噪声沿建筑高度的分布以及结构的加速度响应。

11.7.4 其他实例

1. 世博会手机票

说到物联网最“明星级”的应用，就不能不提到中国移动的世博手机票。

如果留意观察，会发现在上海世博会各个检票口，经常有人手中没有门票，只是手机在检票闸机前轻轻一晃，就可以轻松入园。这些观众手中使用的，就是世博手机票。世博手机票是全球首次把物联网领域RFID技术与移动SIM卡相结合的应用，突破性地为中国移动用户实现了“不换手机，更换一张RFID-SIM卡就能‘刷手机’坐地铁、游世博、去购物”的便捷服务。世博手机票至少卖出6万张，用户在世博园区各出入口总数约205台检票闸机上都能方便地使用。

专家介绍说，RFID-SIM卡承载的“手机钱包”是移动物联网产品中贴近市民的创新应用，除了进入世博园区，移动用户还可以用它来便捷完成乘地铁、购物等小额手机支付。目前上海地铁11条线路全部280多个车站共近3300个专用闸机通道可供“刷手机”通行，每座车站至少有2组进、出站闸机，并标识“手机钱包专用通道”字样，方便乘客使用。另外，世博园区内外的伊利自动售货机、星巴克、老丰阁餐饮、联华超市等2000多家商铺都安上了支持手机钱包功能POS机，供上海市民和世博游客“刷手机”消费。

2. 无线视频监控技术

物联网大会现场，三大运营商集体推出的远程无线视频监控技术，吸引最多目光。据介绍，今后在集装箱监控、运钞箱及贵重物品跟踪、宠物跟踪、高危货品跟踪、儿童关爱、老人关爱市场、司法监视居住等场景中，远程视频监控都将起到重要作用。

对于近日市民所关注的校园安全问题，上海电信已率先在浦东推出基于物联网技术的“天翼眼”服务，受到家长的青睐。可千万别小看挂在学生胸前的那个类似绿色小哨子的新奇小玩意，它的本领却大得很呢！它利用电信的无线定位服务，实现对学生的不间断实时位置追踪，家长只要通过计算机和手机就能随时掌握孩子的行踪：出家门20min了，应该到学校了吧？用手机查看一下，原来宝贝正准备进校门呢！而这时，“您的孩子已经到校”的短信也正好发过来。而万一发生“失踪事件”，通过查看储存在“绿哨子”里的信息，孩子一天的行踪轨迹一目了然。

3. 远程会诊

上海电信展示的“智慧医疗”方案描摹了这样一幅场景：当身体不适时，只需取出手机，运行其中的智慧医疗程序，并将便携式心电监测仪贴在胸前，采集的心电检测数据，会自动

通过蓝牙传输到手机上,再由手机自动传输到医疗的后台专家服务系统。医院的专家在对数据进行分析后,给出的诊疗建议立马就会以短信的方式到达用户手机。

值得一提的是,“智慧医疗”系统还具备与医院电子病历联网的功能,市民可以通过二代身份证登录查询自己的电子病历。“智慧医疗”系统已开始在本市个别区的中心医院试用,并具备大范围推广的条件。

无独有偶,上海联通也披露了一项基于物联网的“智慧医疗”方案——护心甲,尤其适合中老年和体弱多病者,使用者按下“一键求助”功能键,预置的3个亲友手机号码会同时收到报警短信,通过对便携监护仪的位置定位,救护车便可准确到达。

4. 手机预定车位

开车出门购物吃饭,找不到车位最让人扫兴。有了物联网,在高峰时段找到车位不再是件难事。上海移动开发的基于物联网的智能停车信息服务系统,让人眼前一亮:据了解,“停车查询”是上海移动正在试点建设中的公共停车智能管理系统中的一项内容,采用的正是物联网中最核心的感应技术——放置在停车场上的传感装置,能够实时采集停车位的使用信息,并通过网络汇总到公共停车平台,实时统计出各停车场的车辆进出登记数据。用户只要发送一条短信,就能提前预订车位,并有导引图传送到手机上,既不用担心车位被人抢先一步占去,也不必担心迷路。

5. 家庭保姆

临时要出差,担心家里的安全?没关系,只要有不明人员移动了窗门,安装在窗口上的白色小报警器就会亮起红灯,对面的摄像头会随之自动对准窗口位置,将嫌疑人员画面拍摄下来,传输到物业监控中心,同时保安第一时间上门查看,并及时通知主人。

忙碌了一天,下班回家,地铁挤得腰酸背痛,想着还要回家烧菜做饭,岂不是很崩溃?其实,你可以有更明智的选择——早上出门前先把米放进电饭煲,把菜放进蒸锅,回家途中,只要按一下手机里的启动键,锅碗瓢盆就开始自动工作,等你踏进家门,香喷喷的饭菜已经做好喽……

6. 远程抄表

在物联网时代,在家等候抄表员上门已毫无必要。目前,中国移动在北京、上海、广东、重庆等地已部署了超过104万远程抄表,主要应用于办公楼和居民楼的水、电、煤气表具。上海移动方面介绍,远程抄表系统主要使用在记录公共事业数据的仪表(如水表、电表等)上集成可记录数据的专用设备,准确及时地收集各种数据,利用无处不在的移动网络,通过设备自动数据回传,具有避免打搅用户、大幅节省人工抄表成本的优点,非常符合政府与事业单位提高用户感受与降低成本的目标。

除了以上应用,还有很多物联网技术也已走进了我们的日常生活。智能地球不再是梦想,相信随着技术的不断进步和完善,物联网一定能够更好的造福人类。

11.8 本章小结

本章在了解了物联网的各个层级的架构、技术、安全和未来发展的趋势和社会需要的基础上,系统地讨论了物联网在我国现代的物流业、医疗业、汽车工业、智能家居、城市管理、交

通管理、环境保护和防灾减灾等领域的应用问题。

物联网的广泛应用促进了物联网的进一步发展，正所谓应用孕育了技术，技术催生了应用。物联网为我们提供了感知中国与世界的能力，也为技术创新与产业发展提供了一个前所未有的机遇。

习　题

查阅资料，给出物联网在物流业、医疗业、汽车工业、智能家居、城市管理、交通管理、环境保护和防灾减灾等领域的最新应用实例。

参 考 文 献

[1] 张铎. 物联网大趋势 [M]. 北京：清华大学出版社，2010.
[2] 吕廷杰. 物联网的由来与发展趋势 [M]. 北京：北京邮电大学出版社，2010.
[3] 刘云浩. 物联网导论 [M]. 北京：科学出版社，2010.
[4] 高飞，薛艳明，王爱华，等. 物联网核心技术：RFID 原理与应用 [M]. 北京：人民邮电出版社，2010.
[5] 汪浩. 物联网的触点：RFID 技术及专利的案例应用 [M]. 北京：科学出版社，2010.
[6] 刘海涛. 物联网技术应用 [M]. 北京：机械工业出版社，2011.
[7] 张新程. 物联网关键技术 [M]. 北京：人民邮电出版社，2011.
[8] 刘笃人，韩保君，刘靳，等. 传感器原理及应用 [M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2009.
[9] 景博，张劼，孙勇，等. 智能网络传感器与无线传感器网络 [M]. 北京：国防工业出版社，2011.
[10] 孙利民. 无线传感器网络 [M]. 北京：清华大学出版社，2005.
[11] 解相吾. 现代通信网概论 [M]. 北京：清华大学出版社，2008.
[12] 夏靖波，刘振霞，张锐. 通信网理论与技术 [M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2006.
[13] 高强. 接入网与接入技术 [M]. 北京：清华大学出版社，2003.
[14] 王兴亮，李伟，等. 现代接入技术概论 [M]. 北京：电子工业出版社，2009.
[15] 孟凡荣. 数据库原理与应用 [M]. 北京：清华大学出版社，2010.
[16] 丁世飞. 人工智能 [M]. 北京：清华大学出版社，2010.
[17] 史忠植. 神经网络 [M]. 北京：高等教育出版社，2009.
[18] 赵健. 数字信号处理[M]. 2 版. 北京：清华大学出版社，2011.